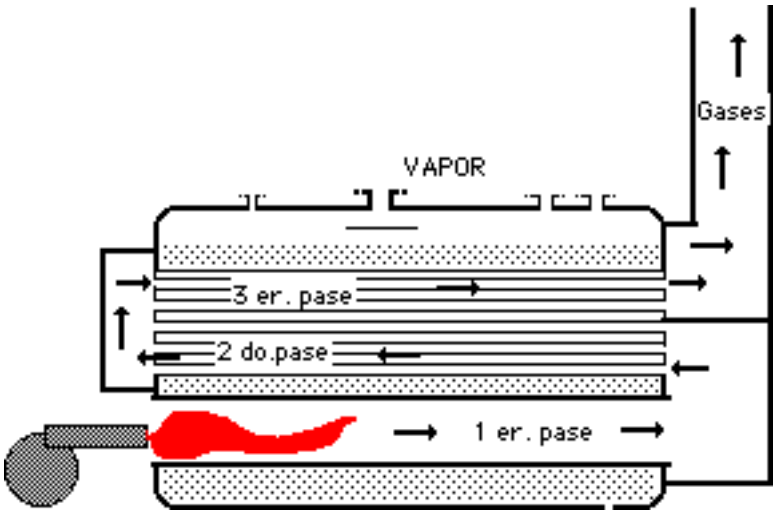


Pequeño manual para la generación y el uso eficiente del vapor

Carlos W. Thomasset
ASESOR TÉCNICO INDUSTRIAL
MONTEVIDEO-URUGUAY

Año 2000

Pequeño manual para la generación y el uso eficiente del vapor
año 2000

PROLOGO

En un mundo difícil de comprender, con este Pequeño manual para la generación y el uso eficiente del vapor , trataremos de poner nuestro granito de arena a un problema que nos atañe a todos.

Vivimos hablando de la **ecología**, pero medimos los países por su aumento en la producción de energía y **no por el uso EFICIENTE de la misma.** Cualquiera que sea la **energía,** especialmente **la combustión de los combustibles fósiles** (carbón, petróleo, gas natural o derivados), no solamente **son elementos muy contaminantes**, sino que una vez **lograda su buena o mala combustión, dejarán para siempre su nivel energético y su condición material para otros usos, pasando a ser elementos contaminantes, desde el "efecto invernadero", "lluvias ácidas", etc.**

En el mundo actual la meta parece ser solamente vender más, ya que los países que disponen dichas riquezas naturales, viven una época de divisas fáciles, que estropea la conducta humana.

Por otra parte, el consumidor **hace gala** a la **"potencia"** y no a la **EFICIENCIA**. Cuando vemos un persona sola, en un gran automóvil, su "jactancia" es el poder real de su motor (y el ruido de su escape) y no el tener conciencia de que está "despilfarrando" la energía que nos pertenece a todos.

En todos los ordenes de la vida se nota este falso concepto, aún es los organismos estatales, que debieran **dar el ejemplo e inducir a ello** (en sus chimeneas, en sus vehículos, en su iluminación, etc).

En años no tan lejanos, en el Uruguay existió una verdadera preocupación por el tema, se creó un organismo dependiente del Ministerio de Industria y Energía, se le llamó **GREI** (Grupo de la Racionalización de la Energía Industrial), su vida real fue relativamente corta y en su momento dio su fruto : **nos indujo a todos los que estábamos en el tema a pensar y compartir**.

¿ Que fue de aquello?

A veces el hombre vuelve sus pasos por el camino mal trazado y parece condenado a su propia glotonería y egoísmo.

¡ Hagamos algo, quizás todavía hay tiempo !

Introducción

En este mundo actual**, la energía es la moneda universal,** que mueve al espacio ocupado por el hombre**, es la responsable de buena parte** (o de la mayor) **de la contaminación del planeta** (con algunas pocas excepciones), **por lo que nos obliga la competitividad actual y la contaminación casi sin retorno** (del uso de combustibles fósiles), **de actuar con el mejor sentido humano, para aprovechar el uso de la energía liberada, usando la mínima necesaria, contaminando lo mínimo posible y cambiando el concepto de generar más energía por el concepto de aprovechar mejor la energía.**

Nos guste o no, **los combustibles fósiles se acaban**, en los años futuros, sino **encontramos una energía alternativa, duradera y no contaminante, será el fin de nuestros días.** Quizás las generaciones futuras, **nos vean como una época de barbarie, en donde "quemamos" algo tan preciado como los combustibles fósiles**, cuyo uso tiene más sentido en la industria química, que la simple y mala liberación de energía.

En el **URUGUAY,** creo que falta una verdadera política energética, estamos cambiando el paso a cada momento. Hicimos una hermosa experiencia con la combustión a leña, **un recurso nuestro, renovable, cuya contaminación de combustión** (CO_2) **es retornada a la misma planta en su proceso de crecimiento vegetal.**

Además, **por cada caldera a leña** le damos trabajo a muchas familias Uruguayas, con un caldera a F.Oíl le damos trabajo a los foguistas de turno y un viaje de camión cada tanto, con las calderas a gas, quizás hasta el foguista tienda a desaparecer.

El gas implica un riesgo estratégico, **es un caño……**

En Alemania, ya se preparan nuevamente para el fin del petróleo, ……..aquí volvimos al F. Oíl, ahora posiblemente al gas (que no tenemos la "llave" y que también se acabará),**……despreciando la experiencia tan hermosa que hemos hecho de la leña.**

En la siguiente página, he puesto una transcripción del espíritu de un artículo escrito en ALEMANIA, a fines de 1999, traducido por gentileza del **Ing. K. Bauer** (padre, cuya basta experiencia en el tema, muchos conocemos)**, en el cual se plantea el retorno a las energías renovables, como la leña:**

"ENERGÍA: Con madera, hacia el camino correcto por la generación de energía.

PORTADORES DE ENERGÍA RENOVABLES DE ZONAS EN PARTICULAR. Noticias VDI, Dortmund **17/12/99** (**Asociación Ingenieros Alemania**).

No todos los sueños de la biomasa como combustible para la generación de energía se cumplirán.

Sin embargo, algunas materias primas de crecimiento sucesivo, obtenidas de la tierra nativa o lugareña, tienen chance de sustituir las futuras fuentes de petróleo que fluirán más restrictivamente.

"Energías renovables" es el futuro. Esta afirmación no es tan nueva, pero el Dr. Karsten Block, gerente del Centro para Materias Primas de Crecimiento Sucesivo NRW, en Bad Sassendorf, al Nordeste del Dortmuund, describe nuevas líneas de desarrollo.

Dentro de medio siglo no habrá mucho más para buscar en petróleo y gas, y no es por nada que multinacionales del petróleo, como Shell y BP, se concentran cada vez más en el inagotable potencial de las energías renovables.

Considerando exactamente, en un tiempo previsible, **la edad del petróleo, habrá sido un episodio de 150 años**, y la agricultura tomará otra vez la función de productor de materia prima.

Lo que en un primer momento puede tomarse como una afirmación solo de palabras, lo acompañan los expertos del **Centro de Experimentación Agrícola** con muchísimos ejemplos prácticos.

Aquí no hay bío-fenómemos en el trabajo, sino pensadores para el suministro mundial de energía y alta tecnología con poco riesgo.

Naturalmente, acota Hans-Bernd Hatmann, la biomasa no cubre todo, sino que hay que colocarse frente a un amplio abanico de posibilidades.

La **energía eólica** también debe considerarse, así como la todavía demasiado cara **fotovoltaica**, el valor energético del trigo es de **2.400DM/ha**, **es superior al valor de venta en el sector alimenticio** de **1.600DM/ha** - estos valores han sido estrictamente calculados.

Los resultados de los ensayos señalan que los portadores de energía de la tierra nativa o lugareña se vuelven competitivos. **(Nota de CWT: en Uruguay la "chilca" llegó a ser un buen combustible, así como los granos y la materia fecal de animales, especialmente en épocas de guerra).**

Su valor mejora adicionalmente por el incontenible aumento del precio del petróleo.

Un competidor absoluto es la madera blanda no comerciable de los bosques delante de nuestra puerta. **(Nota de CWT : ¿que pasa con los sobrantes de los eucaliptos de exportación?)**

La nueva técnica de calefacción desarrollada hace posible que grandes edificios y barrios enteros sean guiados a este positivo camino de madera.

Producción de pellets y chips, cadenas cerradas de proveedores y depósitos, permitan una calefacción con madera automática, que no quedan en desventaja frente a las más modernas calefacciones de gas natural o fuel.

Solamente los desechos de madera vivirán un resurgimiento energético, ya que a partir del año 2005 no podrán ser acumulados.

Los dolores de cabeza los da todavía la logística.

Ayudas puntuales aportan instituciones como el campo energético de Kempsten o un apoyo similar de Olsberg, donde se producen trozos de madera picada para grandes instalaciones de combustión.

Puntos a favor de la calefacción con pellets de madera es el combustible limpio y compacto, así como el bajo potencial de contaminación del medio ambiente (CO_2, crecimiento y combustión neutra, **(aclaración de CWT : el mismo CO_2 producido en combustión, es consumido por el árbol al crecer)** y no por último la disponibilidad permanente.

Además de este modo pueden utilizarlo viejas instalaciones de calefacción (**aclaración de CWT: en Alemania la calefacción en invierno es el gran consumidor de energía**),

El gobierno Alemán invirtió 200 millones de DM en un programa de experimentación que tiene por objetivo justamente la transformación de calefacciones a fuel oíl.

Karsten Block critica: "La buena intención sin embargo falla en que debe construirse también nuevamente la instalación de agua y con ello solo entran en consideración construcciones nuevas, quedando las existentes".

NRW sigue caminos propios en la investigación y favorece sistemas enteros ligados térmicamente, ya que estos constituyen un punto de partida para instalaciones mayores.

En el caso del Miscantus, el una vez muy alabado "pasto elefante', todavía no ha fructificado su utilización energética.

Una solución atractiva a observar es una plantación sobre la carretera a Dorwagen de 100 Ha de madera de crecimiento rápido cuya cosecha está prevista con fines energéticos.**(nota de CWT : en el Uruguay hay miles de hectáreas forestadas de eucaliptos ?)**

Si sólo se tomaran en cuenta razones técnicas y económicas y se dejaran de lado consideraciones éticas, la combustión de cereales sería un acierto.

Los excesos de cosechas no pueden dejar de discutirse y al contrario que en el caso de la madera, la cadena logística estaría cerrada.

"El trigo estaría predestinado" conjetura el Dr. Karsten Block, "ahí la caja registradora suena al máximo, pero lo hace en el oído más crítico".

Con cereales se podría de todos modos ir a una tecnología de calefacción de alto rendimiento.

Sin embargo no parece que sea el camino.

Así que no es el desafío el problema, y el cambio a la combustión de biomasa no fracasa por el material, sino el escollo lo forman las todavía no cerradas cadenas logísticas.**(nota de CWT : en el Uruguay se transporta un 40% de agua junto con la leña verde y se utilizan camiones en vez del ferrocarril o los ríos).**

Frecuentemente falta también la aceptación de las autoridades comunales, que ven en una calefacción a leña todavía un problema de recolección de residuos especial.

Aún así, Block piensa: "La calefacción y combustión con madera ha alcanzado un nivel técnico competitivo.

Aún con el más crítico lápiz de cálculo rojo, se encuentran actualmente por lo menos zonas en particular donde resulta rentable.

Hort Niehörster"

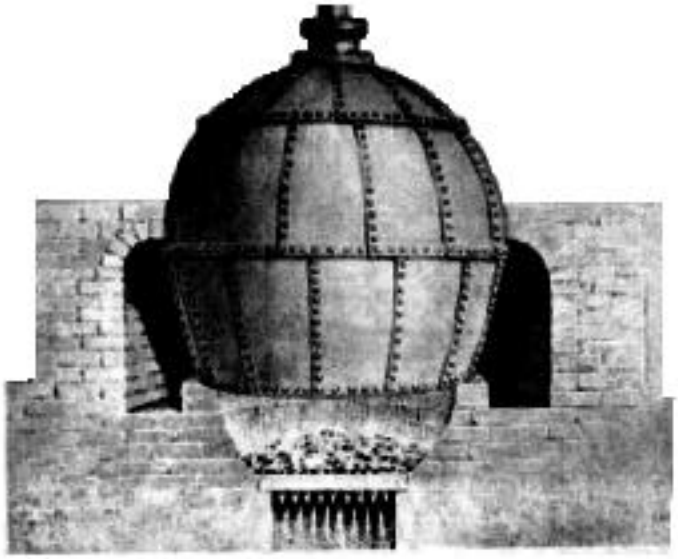
Nota de CWT: en el Uruguay, el escollo más grande parece ser la cantidad de personal para el manejo de la leña, especialmente su costo de directo y previsional, creo que en esto debemos de ver como una oportunidad de dar trabajo a la gente y no como un inconveniente, compensando los costos con el manejo de la leña ya seca, con un transporte de bajo costo, con un control de combustión con el máximo de eficiencia.

Un pequeño recorrido por la historia de las calderas

La historia de las calderas parece no tener un claro principio. El hombre desde hace muchos siglos atrás, trató de emplear la fuerza del

vapor. Primero utilizando la **propiedades de su condensación**, en la cual en realidad **era la presión atmosférica quien hacía el trabajo** de presión al condensarse el vapor . Se puede decir que hasta fin del siglo 18, las calderas prácticamente eran de tan baja presión (apenas 3 a 4 libras por pulgadas o sea 200-300 gramos por centímetro cuadrado o 2-3 metros de columna de agua), que lo que hacían era **desalojar el aire con el vapor**, para luego proceder al enfriamiento del vapor, el cual **generaba un "vacío" al condensarse,** dando a lugar a que la presión atmosférica hiciera el trabajo de mover un émbolo o pistón.

La falta de conocimientos y materiales, era un límite natural. Se empleaban en la construcción láminas de cobre, latón, fundición de hierro, hasta madera y otros, de forma que al hacer la unión estanca entre las planchas que formaban la caldera, había tantas pérdidas, que a pesar que la sellaban con un calafate de cartón o algo similar, luego tenían que poner en el agua elementos que hicieran de "tapón" entre las juntas (¡ hasta la bosta de caballo se ponía en el agua !). Veamos un dibujo de una caldera de ese tipo y hasta una fotografía



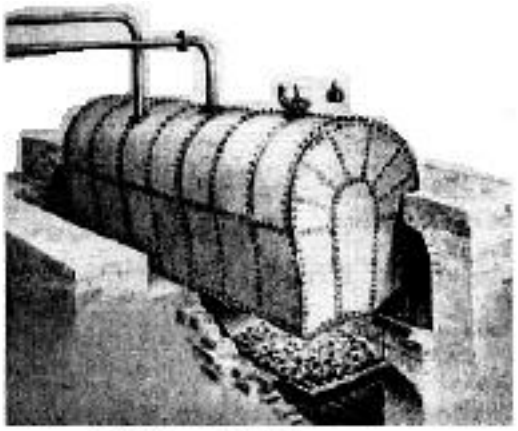
!!! caldera Haycock 1720

Fotografia tomada en 1938 caldera Haystack

Esta forma geométrica parece bastante razonable para la época, veremos que hay otras formas más dispares. Hay una fotografía tomada en 1938 en una caldera parecida a este tipo (encontrada en G.Bretaña, caldera Haystack), que nos da una idea de como eran estas calderas.

Llegar a esto fue todo una "hazaña".

Veamos algunos dibujos más de estas primitivas calderas del 1700....como la siguientes:



Waggon 1768

Algunas de estas calderas, de baja presión, especialmente las últimas del cuadro siguiente, han llegado al principio del siglo 20.

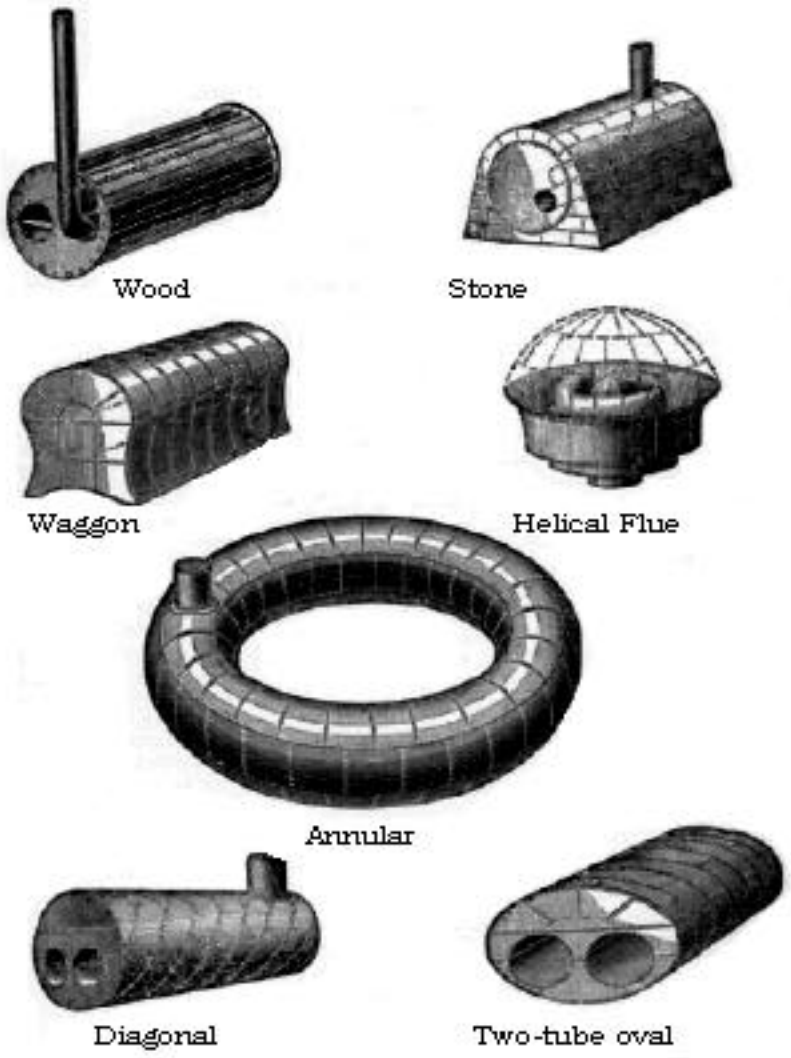
En **Uruguay**, en el frigorífico **Casablanca de Paysandú**, en la década del 70 (1970) todavía se usaban calderas del tipo Diagonal, con dos tubos de hogar y el gas de combustión retornando por los laterales; **quemando leña, la eficiencia apenas llegaba al 50%**.

Era tanto el riesgo y la ineficiencia (el aprovechamiento del calor) de estas calderas, fabricadas más por herreros que por mecánicos o talleres especializados, que morían muchas personas en su operación.

Con la **aparición del hierro** como chapa (la fundición de hierro ya existía, pero el hierro "purificado" todavía no, el cual se podía trabajar mecánicamente) **en "planchas" forjadas**, y con la **necesidad de energía de operación en las minas y en las fábricas**, fueron apareciendo las primeras calderas con cierto sentido para aprovechamiento del calor y con ciertos criterios de seguridad.

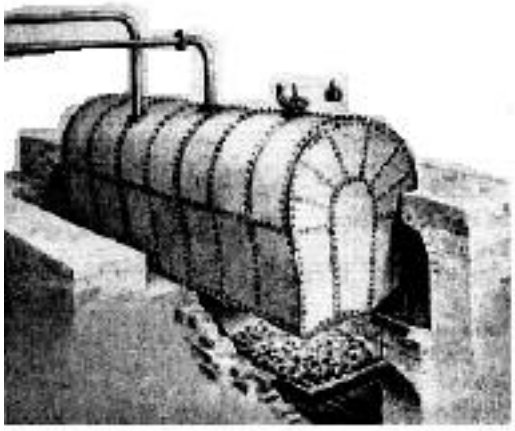
Las actuales calderas fueron naciendo con los comienzos de la era "industrial", en los países Europeos, especialmente en Gran Bretaña Alemania,etc. , y en América (Estados Unidos de Norteamérica).

Los esfuerzos por **convertir la energía del calor en energía mecánica** para sustituir la energía de los hombres, los animales, el viento, el agua.....**eran permanente objetivo de los hombres.**

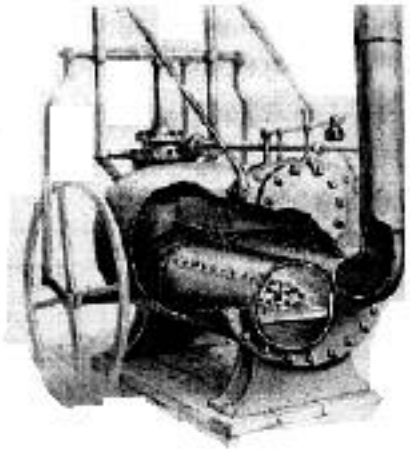


Primero, en tierra firme, especialmente en las minas, luego en la industria y los ferrocarriles, en las cosechadoras, etc., dio paso al **uso naval** de esta nueva fuerza aprovechable.

Quizás la primera caldera humo-tubular que tenía ciertos principios de ingeniería fue la de **Trevithick en 1804.**



Waggon 1768



Caldera Trevithick 1804

Al comparar la caldera del Sr, Trevithick de 1804 con una Waggon de 1768, evidentemente no tienen "**nada que ver**".

Mejorando la calidad de los materiales, el diseño, los elementos de seguridad, la operación etc....en **el siglo 19 será el gran siglo de las calderas**, **con las máquinas alternativas de vapor**, ya que los motores de combustión interna recién aparecerán a fin del siglo y comienzos del siglo 20. A fines del siglo 19 y principios del siglo 20, aparecerán las **turbinas a vapor**, moverán las grandes usinas y los barcos a vapor.

Dentro de la problemática de las calderas en el siglo 19 y comienzos del siglo 20, **el problema del agua era muy importante**, ya que había un gran desconocimiento del manejo de la misma. Generalmente se utilizaba el agua disponible en el lugar, que muchas veces era de la peor calidad. Poco a poco los "maquinistas" o primeros "foguistas" iban tomando conocimientos prácticos para mejorar el comportamiento del agua en las calderas. Utilizando los más variados elementos que introducían en el interior de las calderas (desde papas, aserrín, etc.,) para evitar que se formaran incrustaciones. Formándose barros extraibles, por la purga y teniendo que abrir en muchos casos, después de cada jornada, alguna tapilla de la caldera para sacar los barros del trabajo diario y volver a poner dichos elementos (papas, aserrín,etc.) nuevamente para la marcha.

Tanta gente murió y se accidentó, que tanto en Gran Bretaña y en Estados Unidos, **las compañías aseguradoras apremiaban a los fabricantes de calderas las mejoras para evitar accidentes**. Tal es así, que hasta las publicaciones de aquellas épocas tenían reservado en sus páginas **los accidentes de calderas del mes**.

En **Inglaterra** una compañía aseguradora había determinado aproximadamente que en el año **1862**, en un reporte mensual, indicaba que se habían registrado en dicho **mes 202 explosiones de calderas, que habían fallecido 438 personas y habían sido heridas unas 476 con serías lesiones.**

A medida que transcurría el siglo 19, aparecieron las **calderas acuto-tubulares**, dando mayor seguridad a medida que aumentaba la presión de trabajo. Se llegaron a llamar "**inexplosivas".**

Pero todo el siglo 19 fue una verdadera "batalla" para llegar a tener calderas con cierta seguridad. En 1866 al hacer un "Records of Boiler Explosions" (un informe de las explosiones de calderas ocurridas hasta la fecha) **en Gran Bretaña, se llegaba a la conclusión que hasta la fecha habían ocurrido unas 1.046 explosiones, causado la muerte a unas 4.076 personas y herido a unas 2.903** (quizás hubieran más no contabilizadas por la falta de organismos de control, comunicación o archivo).

Tanto en Europa como en Estados Unidos, se fueron formando **asociaciones de ingenieros, fabricantes, aseguradores,** etc. Fueron tomando conciencia del problema y fueron **dictando "normas"** para el diseño, construcción, operación de las calderas e inspección de las mismas.

Por ejemplo, en ESTADOS UNIDOS, pasó lo siguiente:

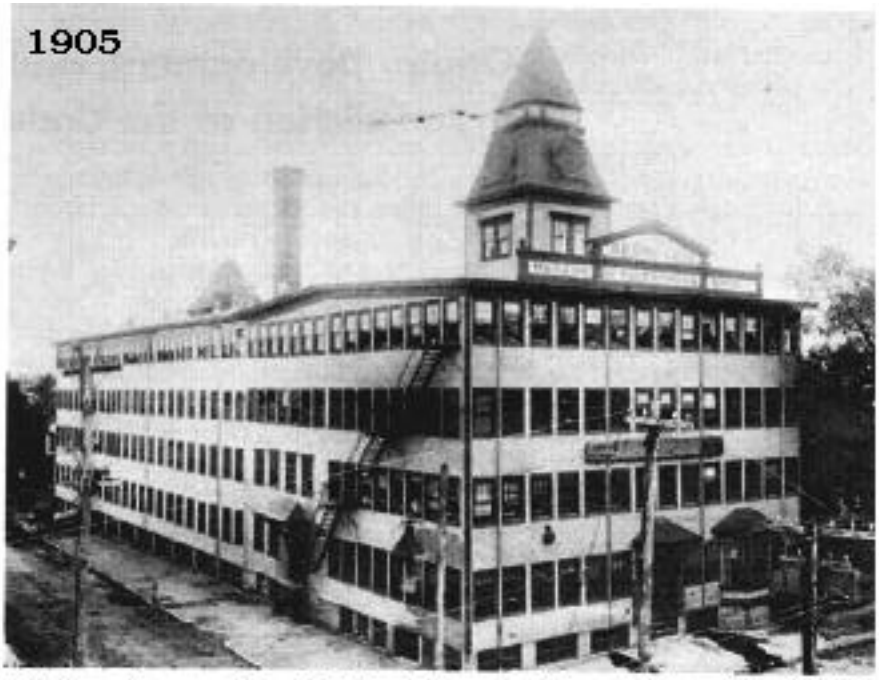
Recién en los **1880** fue fundado el **ASME** (**American Society of Mechanical Engineers**, o "Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos"). Sociedad de ingenieros que irá creando normas para la fabricación de elementos mecánicos, creando con el tiempo lo que se llamaría el **Boiler & Pressure Vessel Code** (Código para calderas y recipientes a presión).

En todos estos años se producirían tantos accidentes de calderas que las revistas técnicas, como **POWER**, tenían una sección que se llamaba : "**This month's accidents**" (Accidentes del mes).

Esto llevó a que se reunieran los fabricantes de caldera y crearan en **1888** la **ABMA** (**American Boiler Manufacturater Association** o "Sociedad Americana de Fabricantes de Calderas"). Era así llamada la sociedad americana de **fabricantes de calderas**.

La combinación de estas asociaciones, con **las compañías aseguradoras** (responsables de las pérdidas económicas)**, al ocurrir graves desastres, forzó a la necesidad de estos códigos o reglamentos para calderas.**

Hubo un hecho que marcó esta necesidad.



Fábrica de zapatos, de Brockton en Massachusetts, U.S.A.

En 1905 una fábrica de zapatos sirvió como detonante de esta situación de falta de seguridad.

A partir de este hecho se comienza a pensar en un **código sobre la construcción de calderas**, en la cual estuvieran representados los **ingenieros mecánicos**, los **fabricantes de calderas** y las **compañías aseguradoras**. Este hecho fue una "tremenda explosión" en Massachusetts, en Brockton, donde una fábrica de zapatos prácticamente desapareció, muriendo muchas personas y quedando heridas muchas más.

Esto llevó a que en el estado de Massachusetts se creara el primer código de construcción, cuidados e inspección de las calderas con fuerza de reglamento o ley.

Fábrica de zapatos de Brockton en Massachusetts, U.S.A, luego de la explosión de las calderas, matando 58 personas e hiriendo a 117. Luego de este desastre, se comenzó a reglamentar la construcción y uso de las calderas en el estado de Massachusetts, en 1907.

Luego otro estado, **Ohio**, siguió el ejemplo de **Massachusetts**.

Ahora se daban las condiciones para que se creara el primer código a nivel nacional. Esto demoró unos años más, en discusiones, pero en 1914, se creó : ***Rules for de construction of stationary boilers and for allowable working pressures*** (Reglamento para la construcción de calderas estacionarias y su presión permitida de trabajo). Se homologó en **1915**, era un **código de la ASME**, en consejo con la **ABMA**. Para que tuviera efecto de ley en todo el país hubo que crear lo que se llamó **The American Uniform Boiler Law Society** (formada en 1916, Sociedad Americana para Uniformizar Leyes para Calderas). Actualmente el **código americano** se llama: ***ASME Boiler and Pressure Vessel Code*** (Código para Calderas y Recipientes a presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

No olvidemos que **un simple recipiente con aire comprimido puede ser muy peligroso,** si no se construye con los materiales, técnicas y diseños adecuados, esto ocurre con **todos los fluidos que puedan ser comprimidos y puedan expandirse**.

Una etapa muy importante, fue la de **elegir quienes serían los inspectores de estas normas. Lo más importante de una norma o un sello, es ser respectados**. Por eso en **1919** se organizó el **National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspector**.

Estos **inspectores** hasta el día de hoy se nombran con una **cuidadosa selección**, de las más **diversas carreras** (ingenieros

mecánicos, navales, etc.). Significativamente, **pesa mucho la experiencia en el área de calderas** (tanto en la operación de calderas de presión y capacidad, como en el tiempo que han sido operadas). Estos inspectores **actúan bajo su responsabilidad,** una vez obtenido su certificación para actuar, es decir, **son responsables del sello que otorgan** y cada tanto deben concurrir a cursos de reciclo.

Lo que debe quedar claro, es que todos estos códigos e inspecciones, lo que buscan es que la caldera y los recipientes de presión, **sean equipos seguros para su operación** y no un mero trámite burocrático para obtener un permiso.

Hoy en día siguen habiendo accidentes en las calderas.

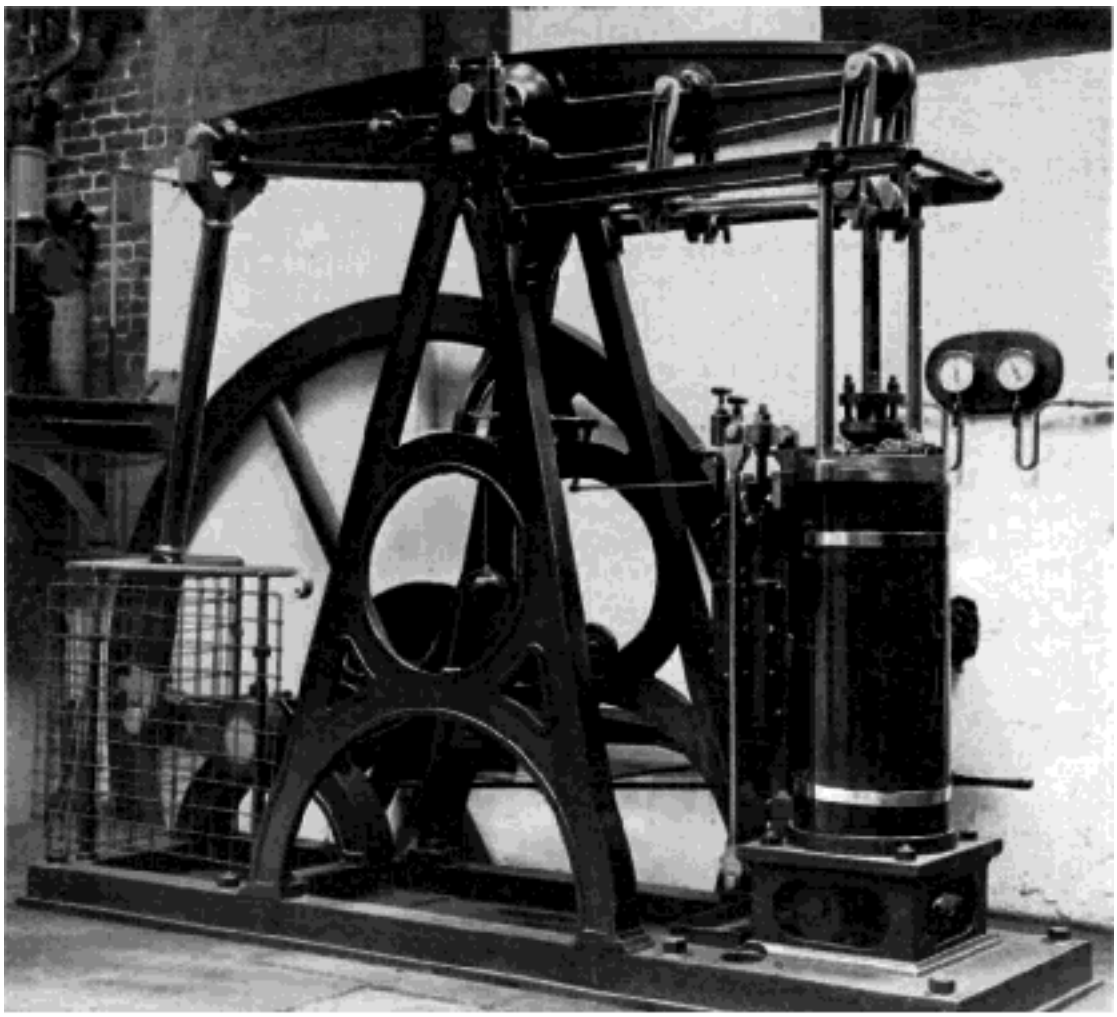
La falta de preparación de las personas, quizás sea la principal causa de accidentes. La falta de responsabilidad de algunas personas que dan **la falsa idea de que conocen el tema**, algunas vendiendo reparaciones, tratamientos, aparatos relacionados o enseñando equivocadamente, hacen que estos accidentes puedan ocurrir cuando no debieran ocurrir. Las leyes o decretos en el Uruguay no son muy claros (hay confusión técnica en quienes lo redactaron).

Los inspectores juegan un rol muy importante, ya que por lo general la gente piensa "**esta caldera pasó el examen, no le va a pasar nada**", pero si el inspector ha dejado pasar una posible causa de futuro accidente, esto puede ser muy peligroso.....además la caldera es dinámica, hay otras posibles fallas.

También pueden haber **fabricantes inescrupulosos o ignorantes**, que venden calderas que no fueron construidas de acuerdo a las normas (no todas las normas son igual de seguras), muchas veces esto ocurre con las **calderas importadas** (las mismas vienen ya con la aislación puesta, son difíciles de inspeccionar extructuralmente en esas condiciones, es como "un médico examinar un enfermo con sobretodo"!!!!).

Por eso, **cuando se compra una caldera nueva**, se deben exigir que las normas correspondientes sean cumplidas.**Todas las normas:** las de los materiales, las constructivas, las inspectivas, las operativas y las relacionadas con todos los elementos de operación de seguridad.

Cuando **se compre una caldera usada**, se deben averiguar todos las informaciones históricas desde su **construcción, operación, reparaciones,** etc. y **hacer una inspección con todas las pruebas necesarias, para asegurarnos que la caldera está en condiciones de una operación segura**.



Máquina alternativa de fines de siglo 18 y principios del 19 Posiblemente construida por Boulton y Watt.

Pero, por más que una caldera, sea buena, bien construida, **debe ser bien usada, respectando todos sus límites operativos, ya que en definitiva cualquier caldera puede ser una "bomba".**

Es un error pensar que una caldera cuanto más soporte la presión (en un calefón de agua pasa lo mismo), habrá menor riesgo, **esto es falso**, ya que lo importante es el **límite de la presión de trabajo**, así como **el límite de la transferencia térmica**, etc., ya que si estos límites se superan, cuanto más fuerte sea el recipiente, más fuerte será la expansión (el efecto expansivo o de explosión).

A esta problemática de todo lo relacionado a la construcción y operación, debemos de agregar un importante capítulo : **la química del**

agua. En la química del agua se debe tener muy en cuenta que la misma **está asociada a la seguridad, eficiencia de la caldera y calidad del vapor.** Los productos químicos a utilizar deben de estar dentro de los elementos que **no afecten a la salud humana** : hay productos que son cancerígenos, hay otros que todavía no se saben si lo son con claridad (algunos de ellos de origen sintéticos, casi indestructibles). En una planta, el vapor de estos productos pueden entrar en contacto con el ser humano en forma directa o indirecta (a través del manipuleo de los productos, del vapor, etc)..

También se venden **aparatos mecánicos "milagrosos"** (generalmente "magnéticos") q**ue tratan el agua**. Se debe tener **mucho cuidado** con esto, ya que no nos podemos descansar en algo que nos puede llevar a que entremos en una zona de peligro en la caldera (por incrustación de la misma). Han ocurrido importantes accidentes.

HOGAR COLAPSADO POR FALTA DE CIRCULACIÓN

No olvidar, que lo más importante en una caldera, es el "enfriamiento" de las superficies del metal sometidas a la transferencia de calor (que tienen por un lado una alta temperatura de la combustión o sus gases calientes y el otro el agua o vapor, que enfría el metal, tomando el calor del metal, pudiendo haber una capa de incrustación o un fenómeno tenso-activo, que interfiera con este enfriamiento), **que se pueden quemar o colapsar, lo que se puede decir que en definitiva, la circulación interna del agua o del vapor en una caldera, es la condición más importante a respectar.**

Pero también tenemos que tener en cuenta que una caldera excesivamente limpia puede ser una caldera perdiendo espesor del metal (el metal en contacto con el agua es protegido por una capa de óxido magnético, por lo que si esta capa se disuelve, el metal es atacado, perdiendo espesor, de allí que una caldera debe ser

preferiblemente incrustada, bajo el límite de seguridad y Eficiencia, pero nunca permitida su corrosión, la corrosión no tiene arreglo, la incrustación controlada siempre es limpiable).

Estos conceptos ya lo tenía muy claro, uno de los "maestros" de las calderas:

La siguiente es la idea de una **caldera perfecta en el año 1875** dada por el Sr. Stephen **Wilcox**.

Nota: A pesar de los años transcurridos, esta idea sigue teniendo una validez indiscutible, pero aún hay quienes no la aplican.

Dijo el Sr. S.Wilcox en 1875 :

"1-Una mano de obra apropiada y construcción sencilla, utilizando materiales que la experiencia ha señalado como los mejores, con los que se evitan reparaciones prematuras.

2-Un colector de lodos, para recibir todas las impurezas que deposita el agua, colocado en tal forma, que pueda ser removido fuera de la acción del fuego.

3-Una capacidad de agua y vapor suficientes, para prevenir las fluctuaciones de la presión del vapor y del nivel del agua.

4-Una superficie para el desprendimiento del vapor del agua lo suficientemente amplia, para prevenir la formación de espuma.

5-Una constante y total circulación del agua dentro de la caldera, para mantener la temperatura uniforme en todas partes.

6-El espacio del agua debe dividirse en secciones que se tendrán que disponer en tal forma que si alguna de ellas llega a fallar, no pueda ocurrir una explosión general, sino que los efectos destructivos queden confinados al escape del contenido de la caldera. **Conductos amplios y libres de obstáculos entre diferentes secciones, para que la línea de agua y la presión sean idénticas dentro del conjunto total.**

7-Una resistencia extremadamente alta, que esté por encima de cualquier deformación justificada; y una construcción tal de la caldera, que quede exenta de las deformaciones ocasionadas por expansión desigual y, hasta donde sea posible, evitar uniones en las partes expuestas a la acción del fuego.

8-Una cámara de combustión construida de tal manera, que la combustión de los gases, que inicia en el fogón quede terminada antes de que dichos gases escapen por la chimenea. (Nota: En la actualidad es esencial que la combustión termine, virtualmente dentro del fogón).

9-Que las superficies de calefacción se aproximen lo más posible a formar un ángulo recto en relación con la dirección de las corrientes de los gases calientes, de manera que sean cortadas dichas corrientes, para extraer el contenido completo de calor de los gases.

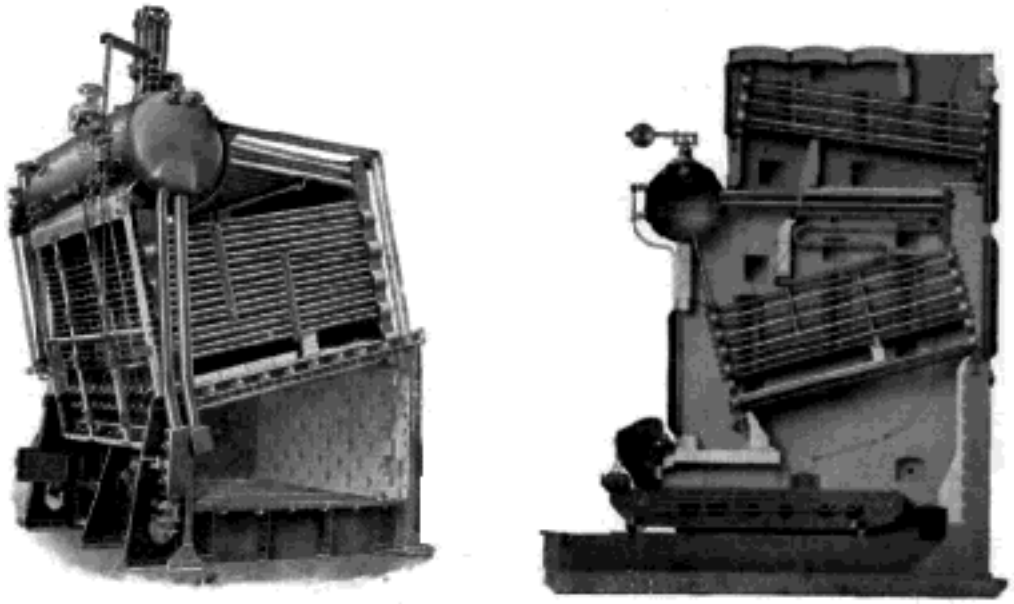
10-Todas las partes deben ser fácilmente accesibles para fines de limpieza y reparaciones. Esta es una condición de la máxima importancia, porque se relaciona tanto con la seguridad, como con la economía.

11-Debe estar proporcionada con el trabajo a desarrollar y adecuada para trabajar a su capacidad máxima de régimen con la más alta economía.

12-Debe ser equipada con los aparatos de medición y válvulas de seguridad más

modernos, al igual que otros accesorios.

Babcock & Wilcox Co. Steam, Its Generation and Use. "

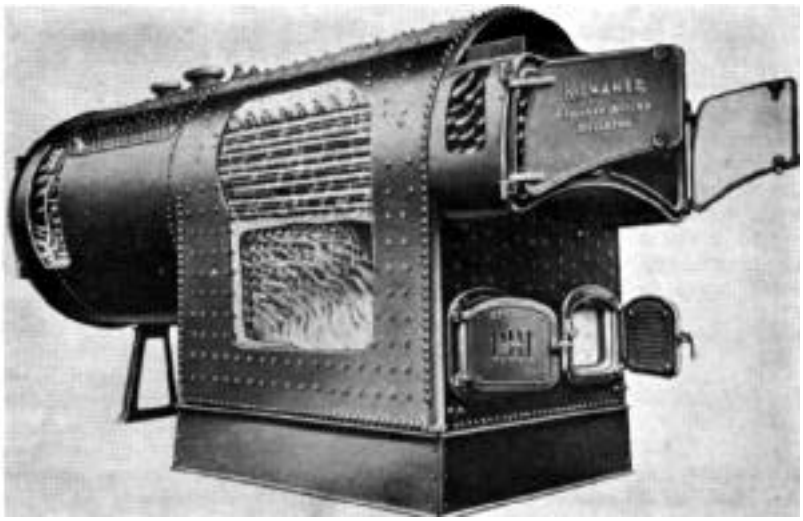


Antiguas calderas acuo-tubulares de fines del siglo 19

En URUGUAY

Las primeras calderas probablemente fueron las instaladas en los **buques de la carrera y cabotaje** (tanto del Río de la Plata como del Río Uruguay), en las **trilladoras**, en algún **molino**, en **ferrocarriles.**

En el caso de la **trilladoras** se pagó tributo en muchos accidentes debido a la precariedad del medio en que se trabajaba (lejos de los talleres, con aguas no muy adecuadas, etc.). Las calderas usadas eran las del tipo locomóvil con ruedas para su transporte.



CALDERA TIPO LOCOMOVIL A CARBON

Es una caldera humo-tubular muy común en Uruguay hasta la mitad del siglo 20, de 2 pases de tubos y un pase exterior en el hogar ("panza caliente", sumamente "peligrosa" por el asentamiento de barros sobre el hogar en la zona de la envuelta, lo que dificulta la transmisión de calor y produce su rotura sobre el fuego. Este tipo de caldera provocó muchos accidentes. Fueron adaptadas a F. Oíl.

Los **ferrocarriles** (actualmente AFE) también fueron movidos en su primer momento por medio del vapor (quemando leña y carbón, luego adaptadas a F. Oíl). La problemática del agua, que se cargaba en distintos puntos del país, obligaba a limpiezas mecánicas en forma periódica de las cámaras de agua. De estos talleres del "ferrocarril" salieron muchos "foguistas" y técnicos para la industria y los talleres.

Los **guinches del puerto** fueron movidos por máquinas alternativas a vapor , alimentadas por calderas verticales.

La **usinas eléctricas del Estado** (UTE) ha sido y es la gran planta de vapor en la actualidad (alta presión), habiendo en otras épocas dispuesto de plantas menores en ciudades del interior.

El **suministro de agua potable a Montevideo** (ahora OSE) era por medio de calderas y máquinas alternativas.

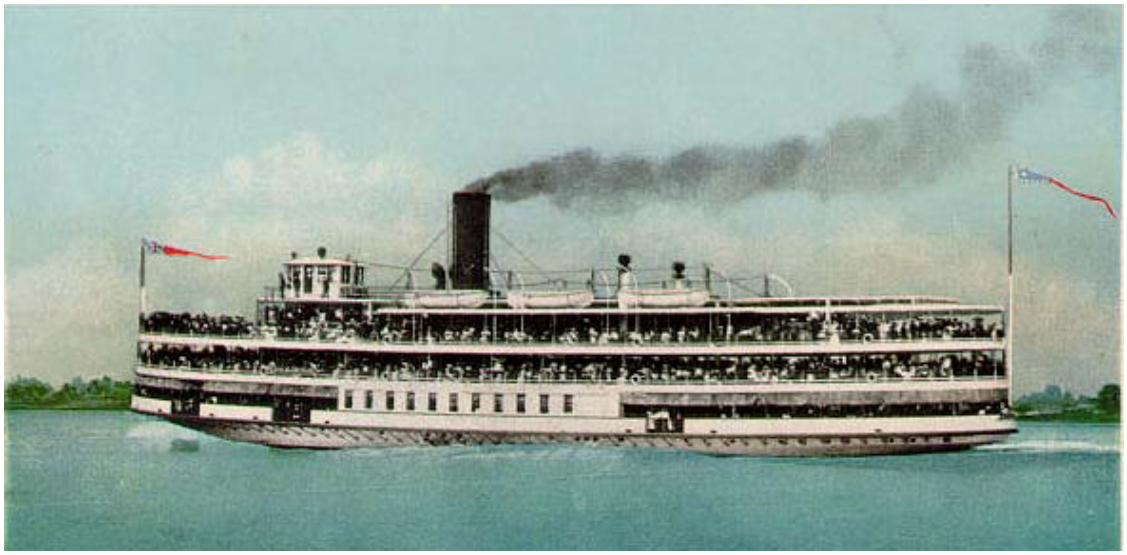
La **refinería de petróleo** (ANCAP) también utiliza la energía de calderas de media presión con generación propia y aprovechamiento de gases del proceso.

Algunas **industrias**, como los **grandes frigoríficos**, la **industria textil,** la **cervecera**, la **industria azucarera**, tuvieron grandes plantas de vapor, con turbinas y generación propia. Estas plantas eran de media presión, con vapor sobrecalentado.

La **industria papelera,** con calderas de media presión y calderas de recuperación de proceso, con turbinas y generación eléctrica propia.

Algunas **canteras de arena y otras extracciones**, contaban con calderas para mover sus máquinas, ahora desplazadas por los motores de explosión interna.

Los barcos, en épocas anteriores, llamados **vapores**, el mismo nombre indicaba la importancia de las calderas en su propulsión y generación de energía eléctrica. Hoy han pasado a motores diesel. Uno de los más conocidos en los últimos tiempos : EL TACOMA tenía calderas de baja presión (humo-tubulares) con turbinas de vapor. Los petroleros de ANCAP y de la ARMADA. Los remolcadores del puerto. Los "vapores de la carrera" desde el siglo pasado (que unían desde Salto, Montevideo, Buenos Aires) fueron los más famosos. Se cobraron muchas "victimas" con los accidentes provocados por las fallas de las calderas (problemas propios de una época).



Barco a vapor de fines de siglo 19 y principios de siglo 20

Las leyes y decretos en Uruguay, puede que haya ordenanzas anteriores, parten de la Ley Nº5032 del 21 de Julio de 1914 sobre Accidentes de Trabajo, que se fue implementando con el tiempo, específicamente para calderas desde la ley del 7 febrero de 1925, que daba el contralor técnico de las calderas a la **Inspección de Minas e Industrias** (después **Dirección de Industria**). Ya en ese entonces se promueven inspecciones anuales del tipo visual y operativo, quedando inspecciones cada 4 años más completas, con prueba hidráulica.

Luego por decreto del 3 de diciembre de 1925, se hablaba de 3 categorías de generadores: de Baja presión hasta 2 Kg/cm2, Medida presión de más 2 Kg/cm2 hasta 4 Kg/cm2 y de Alta presión de más de 4 Kg/cm2..

Hoy esta clasificación no tiene sentido técnico ya que los límites de presión son arbitrarios, es decir todo es muy relativo, de manera que hoy se utiliza la superficie de calefacción que da una idea más clara sobre la dimensión del generador.

Por ley del 31 de enero de 1935 pasará a la **Dirección de Industrias** el control y cobro de las tasas de impuesto.

Los decretos del 11 de marzo de 1927, junio de 1930, 15 de mayo de 1933, noviembre de 1934 y 31 de agosto de 1938, darán la pauta de la **Reglamentación general**, esto reglamentaba todas las operaciones de control, traslados y enajenación de los generadores de vapor.

Un decreto del 24 de julio de 1933 reglamentaba el uso de las soldaduras en la reparación de las calderas (no olvidar que las calderas eran por lo general **remachadas**), este decreto daba algunas normas técnicas muy genéricas sobre responsabilidades y procedimientos.

Siendo necesario que los talleres que efectuaran reparaciones de importancia (¿cuerpo de presión?) hubiera un ingeniero especializado responsable.

El decreto del 29 de noviembre de 1940, regulaba los procedimientos, responsabilidades, de los propietarios de calderas y los talleres de reparación. **Siempre el propietario es el responsable principal o el taller que efectuó la reparación, no así el inspector que habilita el generador.**

La **Dirección de Industrias** será el controlador, aunque quien aplique las sanciones será el **Instituto Nacional del Trabajo y Servicios Anexados.**

En resumen, en los referente a las calderas, ya desde aquellos años: Los **inspectores deberán controlar la exactitud de la presión de los manómetros,** utilizando para ello un **manómetro patrón**, las **válvulas de seguridad** quedarán **precintadas una vez calibradas** (será la Dirección de Industria quien controlará estos precintos). Se indicaban los procedimientos más importantes en las situaciones de riesgo y los procedimiento a tener en cuenta para las inspecciones.

Se llevaba un libro de anotaciones de las inspecciones y reparaciones (decreto 11 de marzo de 1927), pero toda avería o reparación se debía comunicar a la Dirección de Industrias (decreto del 29 de noviembre de 1940). En cuanto a los foguistas, deberían tener un certificado de idoneidad de la D.I. (decreto de 3 agosto de 1945).

Un decreto 406/988 (M.S.P.) , el el capítulo IV se reglamentan una cantidad de elementos o procesos sobre las calderas y recipientes a presión, sus cuidados y operación.

Por decreto del 12 de marzo de 1997 se acuerda que el M.I.E.M. podrá pasar al L.A.T.U. (Laboratorio Tecnológico del Uruguay) la inspección técnica de los generadores de vapor.

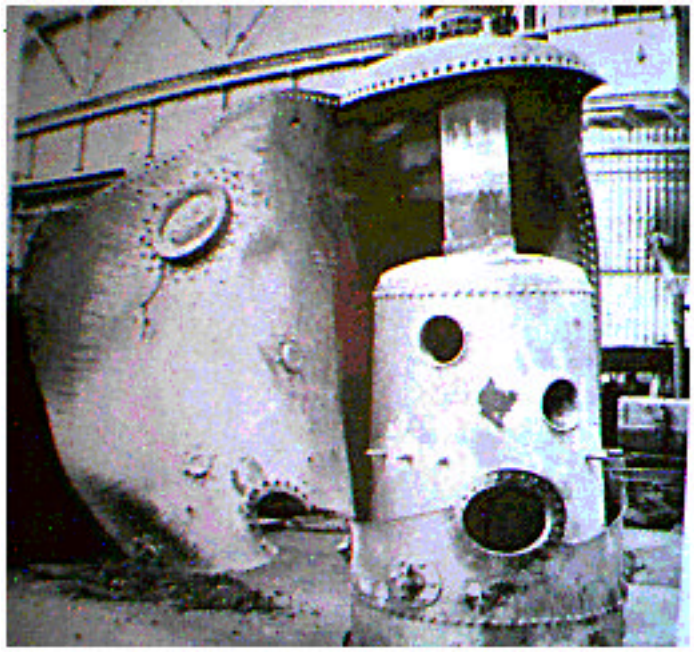
Hoy en día, la legislación está en un período de evolución, dado que los generadores de vapor han cambiado mucho (siendo el Decreto 190/997 en donde se procede a pasar la obtención del carné de foguista al Bachillerato Tecnológico de Termodinámica (Frío-Calor) de la Escuela Técnica del Buceo).

Pero hay cosas muy rescatables de estas leyes y decretos anteriores, algunas que ya se dejaron de usar, como ser : que cada generador centralice en sitio, en una libreta toda la información en su vida útil (esto sirve como historial, cosa muy importante). La otra es el control de los manómetros en sitio, ya que un manómetro por calibrado y precintado que esté, puede fallar desde el lugar en donde se efectuó la calibración y el precinto, a su instalación en la caldera.

No comparto en la reglamentación de la purga diaria de la conexión al manómetro (esto provoca corrosión y fatiga en el manómetro),

quizás el motivo de esta indicación era por el temor que el manómetro estuviera "engripado" (cosa muy probable en aquellas épocas que casi no existía el tratamiento de agua).

Es bueno la **prueba dinámica de presión de apertura y cierre** (con presión de la propia caldera) **de las válvulas de seguridad**, es la única forma de asegurarse que las mismas operan correctamente, **las cuales deben estar precintadas por el inspector, pero también deberían hacerse pruebas de capacidad** (cosa que nunca he visto hacer en 41 años), especialmente en calderas nuevas.



ANTIGUA CALDERA VERTICAL. Esta caldera ha sufrido una explosión de envuelta, **el más peligroso de los accidentes**, generalmente producto de fallas estructurales, ataque cáustico a los remaches o simplemente exceso de presión.

Mi opinión:

Al día de hoy, muchos son los organismos que verifican y controlan las calderas o generadores de vapor : Ministerio de Industria y Energía (Dirección de Energía), Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Intendencias, Bomberos, Banco de Seguros del Estado (o compañías aseguradoras), ...Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU), Escuela Técnica del Buceo (carné de foguista), ...

Creo que cuando hay tantos organismos sobre un mismo control, el control se dispersa y se dificulta, ya que **el usuario debe tener muy claras sus obligaciones, procedimientos y responsabilidades**.

El dueño o representante del dueño del generador de vapor, le debe quedar bien claro que la inspección oficial de su generador de vapor no lo exime de la responsabilidad, ya que el inspector no la tiene (quizás deba tener la responsabilidad de la habilitación si se comprueba una falla posterior, que haya sido aceptada por dicha habilitación). Es evidente que no se puede hacer responsable a una persona que no está en contacto con el equipo en forma diaria o en el tiempo, por eso creo que **la inspección debe ser bien concreta a que el cuerpo de presión y los dispositivos de seguridad han pasado una prueba establecida en una determinada fecha**, **no dejando dudas al respecto** (si hay dudas deben ser consideradas de acuerdo a prioridades). Las **pruebas hidráulicas**, especialmente la presión de prueba debe ser revisada, creo que no es posible aceptar en forma genérica una vez y media la presión de trabajo como límite general de la prueba hidráulica (creo que una caldera de 1 Kg/cm2 es absurdo que sea probada a 1,5 Kg/cm2).

Luego la **dinámica operativa y de mantenimiento** (inclusive los tratamientos químicos, ya que estos son de operación continua), **que son del personal a cargo del generador y sus responsables, quienes lo administran**, deben de tener la **información y la formación adecuada para responder a la responsabilidad a las que se les llama**.

Considero que en la caldera hay zonas que deben ser diferenciadas:

1-La consideración de la caldera como un **elemento mecánico a soportar presión, temperatura, corrosión** (materiales, diseño, normas, controles) y sus **mecanismos asociados de seguridad.** (válvulas de seguridad, tapón fusible, control de bajo nivel, presóstato de alta, control de llama, etc.). Atenerse a las normas habilitadas.

2-La caldera en su **operación dinámica-operativa, o la verificación de la operación correcta de los mecanismos de control y seguridad** (accionamiento de válvulas de seguridad, control de máxima presión, capacidad, etc). **Pero hay parámetros que deben ser considerados, como : la disipación máxima de calor por m3. de hogar o la disipación máxima de pico por m2.** (especialmente en los hogares humo-tubulares, en donde estos valores cuando son altos, se corren riesgos de colapso del hogar o de aflojamiento de tubos en la placa más caliente, hecho que lleva a un accidente de consecuencias imprevisibles). **Nadie controla la máxima combustión.**

3-Mantenimiento : mecánico, eléctrico, electrónico, neumático, etc, incluyendo el tratamiento químico del agua.

4-La combustión, controles de eficiencia y contaminación.

Cada uno de estos ítem de alguna forma están relacionados. Pero creo que **los dos primeros items** (1 y 2) **deben ser los controlados en forma directa, ya que estos son los que afectan en forma directa a la seguridad.** Los dos últimos (3 y 4) **son particulares a la filosofía de cada planta**, es decir, **dependen de políticas internas de las empresas,** siempre que estas **no rebasen los límites en que se pueda vulnerar la seguridad o se pueda contaminar el medio ambiente.** Es decir, se podrá controlar los límites de combustión en lo referente a la contaminación, pero no en lo concerniente a la Eficiencia de Combustión, en que las superficies internas estén dentro del límite razonables de incrustación, **siempre que esto no sea motivo de afectar la seguridad** (ya que la política de un tratamiento químico puede ser muy variable, pero no debemos de perder la visión, que un caldera podrá aparentar estar incrustada, **pero nunca deberá tener síntomas de corrosión,** ya que **la incrustación es en muchos casos, dentro de los límites razonables, una estrategia de conservación y seguridad**, ya que en algunos lugares en donde las calderas por su particular operación corren riesgo de corrosión, especialmente por contaminación).

En calderas, **la experiencia, es un elemento muy importante, muchos de los problemas que ocurren, a veces pasan varios años de acumulación para su observación.** A esto debemos de sumar, que no hay dos instalaciones con iguales condiciones de operación o por lo que no hay dos calderas que se comporten de la misma manera.

Cada **franja de presión**, cada **tipo de caldera**, cada tipo de **uso que se le dé al vapor** (alimentación, textil, metalúrgico, laboratorios,

hospitales, etc.), cada **lugar el agua de reposición** (agua de lluvia, lagos, ríos, pozos, etc.), cada **comportamiento del consumo de vapor** (curtiembres, azucareras, lecherías, etc.), **tipos de combustibles** (leña, F. Oíl, gas, cáscara de arroz, etc.), **etc. requiere una estrategia técnica, muchas veces diferente en cada caso.** Para quienes no tienen la experiencia vivida al respecto, esto no lo entienden y lo ignoran, siendo esto un factor muy peligroso para la seguridad de la operación del generador a vapor.

Llevo 41 años trabajando con calderas, **en todas las áreas de su entorno** (su manejo, mantenimiento, sus elementos de seguridad, sus controles eléctricos, sus tratamiento de las aguas, limpiezas químicas, control de combustión, medición de la eficiencia, evaluación de su estado, etc, en la industria, en los barcos, en hospitales, en los talleres de calderas, etc.) **y todo los días creo aprender algo.**

No tengamos la soberbia de creer que lo sabemos todo.

El foguista es el único operador industrial que se le exige un carné, previo examen,.....(para cual tiene que estudiar).

Pero no hagamos de esto y otras, una complicación burocrática, busquemos brindar la preparación y formación adecuada, con instructores con una experiencia real en el manejo, mantenimiento y construcción de calderas.

##########################0#########################

En este Pequeño manual para la generación y el uso eficiente del vapor , trataremos de indicar aquellos caminos más simples y prácticos, que nos permitan lograr que una instalación sea sencilla, segura y **EFICIENTE**, basados en nuestra experiencia práctica.

Según el diccionario, ENCICLOPEDIA UNIVERSAL SOPENA, de la lengua española, se define como **EFICIENCIA : virtud, poder, facultad para hacer algo, y acción con que se muestra.** Pero cuando nos referimos a las cuestiones de las **calderas** o a la **física**, la **EFICIENCIA es el RENDIMIENTO**.

Definiendo como **RENDIMIENTO térmico de un motor a : Relación** entre el **trabajo mecánico efectuado por un motor térmico** y el **equivalente mecánico de la totalidad del calor recibido**.

En nuestro caso, será la relación del calor realmente aprovechado o trasladado en cada fase del proceso en relación al calor suministrado por el combustible (referidas al Poder Calorífico Superior o Inferior, de lo contrario no podremos interpretar el valor en forma adecuada).

Traducida la EFICIENCIA en términos reales: **es la de apreciar los costos operativos en la utilización de los combustibles y su posible mejor aprovechamiento.**

Para **comparar EFICIENCIAS**, debemos de **hacerlo al medirla en condiciones operativas similares**, salvo aquellos parámetros en que estamos buscando una alternativa de mejora. Por ejemplo: si comparamos dos calderas diferentes, debemos de hacerlo en consideración a iguales presiones de vapor y % de carga o producción de vapor, temperatura del agua de alimentación, % de purgas, etc.

Y cuando vamos a **comparar mejoras de EFICIENCIAS**, buscando la expresión **% de ahorro o mejora**, el cálculo no será una mera diferencia de las EFICIENCIAS, porque si fuera así, estamos comparando erróneamente (dado que estamos estableciendo el ahorro sobre una base del 100%). Por ejemplo: si en una caldera la EFICIENCIA TOTAL medida con un determinado exceso de aire dá 80% al P.C.I. y al bajar el exceso de aire dicha EFICIENCIA al medirla nos dá 85% al P.C.I., el ahorro posible **no es la diferencia de 85%-80%= 5% , sino que el verdadero ahorro será mayor dado que es referido al 85% y no al 100%, o ser (85%-80%)/85%= 5,9%,** un valor evidentemente mayor.

POSIBLE AHORRO AL MEJORAR CONDICIONES DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA

Eficiencias mejoradas:

Eficiencias a mejorar:	**80%**	**82%**	**84%**	**86%**	**88%**	**90%**	**92%**
	Ahorro de F. Oíl pesado.						
60%	25,0%	26,8%	28,6%	30,2%	31,8%	33,3%	34,8%
62%	22,5%	24,4%	26,2%	27,9%	29,5%	31,1%	32,6%
64%	20,0%	22,0%	23,8%	25,6%	27,3%	28,9%	30,4%
66%	17,5%	19,5%	21,4%	23,3%	25,0%	26,7%	28,3%
68%	15,0%	17,1%	19,0%	20,9%	22,7%	24,4%	26,1%
70%	12,5%	14,6%	16,7%	18,6%	20,5%	22,2%	23,9%
72%	10,0%	12,2%	14,3%	16,3%	18,2%	20,0%	21,7%
74%	7,5%	9,8%	11,9%	14,0%	15,9%	17,8%	19,6%
76%	5,0%	7,3%	9,5%	11,6%	13,6%	15,6%	17,4%
78%	2,5%	4,9%	7,1%	9,3%	11,4%	13,3%	15,2%
80%	0,0%	2,4%	4,8%	7,0%	9,1%	11,1%	13,0%

Como vemos en la tabla anterior, si entramos por la vertical "Eficiencias a mejorar" e interceptamos al entrar con el valor mejorado por "Eficiencias mejoradas", el cruce de la horizontal con la vertical dará el valor en **%** de **"ahorro del combustible"**, esta tabla se refiere para cualquier combustible, ya que solamente nos estamos refiriendo a %.

Hablando de EFICIENCIAS :

Por lo que veremos, tendremos la **EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN y TRANSFERENCIA** en la primera apreciación del aprovechamiento del calor transferido a la caldera, pero como la caldera tiene una **EFICIENCIA TÉRMICA** propia como equipo térmico (pierde calor por su cuerpo, purgas, etc), la **EFICIENCIA TOTAL** de la caldera tendrá en consideración esta última, ya que en realidad la **EFICIENCIA TOTAL será realmente la relación del calor transformado en vapor** (menos el calor que trae el agua de alimentación, tomando en ambos la referencia de 0ºC) **al calor entregado por el combustible** (variando la expresión de eficiencia como un porcentaje - %- referido a uno de los poderes caloríficos especificados, poder calorífico **superior o inferior,** si no se define a que poder calorífico se expresa, queda invalidada la expresión de eficiencia o rendimiento).

Por ejemplo en una misma caldera la EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA tiene dos expresiones (para una misma medición o condición) : en el caso de F. Oíl pesado la misma EFICIENCIA se puede expresar como 87,98% al **P.C.I.** es equivalente a 83,52% al **P.C.S**., ambas pueden ser usadas para el cálculo o

evaluación del ahorro, aunque deberán ser comparadas con los mismos poderes caloríficos establecidos (P.C.S. con P.C.S y P.C.I. con P.C.I.).

Más allá de la caldera, cuya EFICIENCIA está definida en la compra y la operación, la EFICIENCIA del vapor generado, estará en su transporte (aislación, pérdidas de carga, etc)**, su utilización** (pérdidas del equipo: térmicas y mecánicas) **y el retorno de el calor no aprovechado en el equipo o máquina** (condensado y vapor de "flash", que hace elevar la Eficiencia Total de la planta de generación si se recupera)**, que mejora la producción de vapor respecto al consumo de combustible** (cuanto más caliente sea el agua de alimentación, mayor será la producción de vapor para una misma cantidad de combustible).

La Eficiencia en una planta procesadora (fábrica) **no es solamente un problema contable**, es la sumatoria del uso eficiente de todas las energías disponibles, tanto las **fisicoquímicas** (combustión, electricidad, transmisión, transformación, etc.) como la **humana** (una energía muy compleja si solamente la consideramos desde un punto de vista físico y no tomamos en cuenta el poder de la mente).

Desde una cisterna de baño perdiendo una valiosa agua hasta una lámpara incandescente iluminando la luz solar, son parte de la Eficiencia.

Dentro de las energías perdidas en una planta, podemos hacer una lista, en la que seguro no estaremos indicando el total, alguna quedará simulada en el bosque :

1-Pérdidas en la combustión y transferencias en calderas (puede ser hasta más de un 30% del combustible). **Pérdida de la caldera como equipo térmico:** pérdidas **térmicas** (propias de la fabricación o sea aislación) o en su **operación** (como el manejo de las aguas, purgas, de los elementos auxiliares, etc.).Pudiendo esta última llegar a valores muy importantes de pérdidas (aunque sea un buen diseño de caldera, en el mal manejo de las aguas, la pérdida puede superar el 15%).

2-Pérdida en la transmisión de la energía térmica, eléctrica o mecánica del fluido entre la máquina de generación (por ejemplo: caldera) y **la máquina o equipo que lo usa** (puede ser también más del 30%). **Una simple cañería mal dimensionada o mal trazada o instalada** (aislación, caídas, etc.) **puede perder parte de le energía** que intentamos transmitir y aprovechar al máximo.

3-Pérdidas en el uso de la energía en la máquina o equipo que la utiliza (puede ser muy alta, desde un equipo de calefacción a una máquina, debido a: desde la trampa de vapor mal elegida o mal instalada, de una bomba hidráulica de mal diseño o mal elegido su

uso, desde un motor eléctrico mal elegido o mal acondicionado a la función etc.).

4-Pérdida por mala recuperación de los retornos de energía (en este caso la posibilidad de aprovechar los condensados de vapor, la recuperación de los gases efluentes, el calor disipado por máquinas de compresión, los fluidos efluentes con energía calórica por encima del nivel ambiental, etc.).

5-Pérdidas en energías reactivas (como la eléctrica) **o el nivel de temperatura innecesariamente alto** (caso de trabajar con la presión de la caldera por encima de lo necesario).

6-Pérdidas por los diseños inadecuados (máquinas de bajo rendimiento, aislaciones faltantes o insuficientes, presiones por encima de las necesarias, etc.).

7-Pérdidas por las pérdidas mismas (fluidos que escapan de su conducciones, sea vapor, agua caliente o fría, electricidad a tierra, pérdidas aire en las líneas de aire comprimido, etc.).

9-Pérdidas por falta de conocimiento, organización o motivación (estas responden a la capacidad de los supervisores en saber transmitir sus conocimientos y su **don de mando**).

Como vemos, es una lista interminable, que solamente los técnicos especializados en la ingeniería de cada rama pueden percibir, no así la administración de la empresa muchas veces ocupada en ver gráficas y números.

Pérdidas en la sala de caldera

Las pérdidas en la sala de caldera, la debemos estudiar desde varios puntos: diseño de la caldera, forma de operación de la caldera, operación de la combustión y sus equipos asociados, la recuperación del calor de los gases de chimenea, la aislación de los elementos con altas temperaturas, utilización de la mejor agua de reposición y recuperación de energía en los condensados,

Diseño de la caldera

El diseño de la caldera es un factor de primera importancia en el aprovechamiento de la energía del combustible.

En una caldera se mide su comportamiento respecto a la energía en dos formas: en forma **directa** o en forma **indirecta**.

La forma directa es **midiendo el calor transportado por el vapor en forma neta** (midiendo las condiciones del vapor y su flujo, al que debemos restar el calor introducido en el agua de alimentación), **midiendo el combustible** (sus condiciones y su flujo)**, calculando la energía calorífica que libera** , luego **la relación de ambos referidos**

al Poder Calorífico (sea el Superior o inferior) , nos dará el **% de EFICIENCIA TOTAL.**

Trataremos primero el caso de **forma indirecta**, ya que es el que normalmente usaremos, **midiendo los gases de chimenea**, los que nos va a permitir el ajuste y evaluación de la combustión y del estado de la caldera (además por lo general la medida directa de la EFICIENCIA exige instrumentos que normalmente no se encuentran en la mayoría de las plantas : caudalímetros precisos, tanto de vapor como de combustible).

La forma indirecta de medir la Eficiencia de una caldera se basa en considerar por medio de la medición de los gases de chimenea, l**a pérdida: 1-** por **temperatura**, **2- exceso de aire** y **3-gases no quemados**, luego basados en la **Eficiencia de la caldera como equipo térmico** (dada por el fabricante como un % del calor cuando la caldera está al 100% de su capacidad) y la **consideración de las purgas y pérdidas de agua y vapor**. Con ambas podremos saber la EFICIENCIA TOTAL de la caldera o aprovechamiento global del combustible.

Veamos la definición de ambas:

a- en <u>Eficiencia de Combustión y Transferencia</u> y b- en <u>Eficiencia Total</u>.

a-Eficiencia de Combustión y Transferencia

Esta eficiencia está considerando que parte (%) del **calor total disponible (referido siempre al P.C.I. ó al P.C.S.)** es el que queda en la caldera, ya que **considera la pérdidas de chimenea** (pérdidas de calor por gases no quemados, la pérdida por la temperatura con que salen los gases en la chimenea y la pérdida de calor por exceso de aire que calentamos y expulsamos por la chimenea, sin darnos utilidad).

En otras palabras, podemos decir que mide el calor que ha logrado pasar por el metal y refractarios de la caldera (o visto de otro modo, mide el calor que ha quedado en la caldera, pero no el realmente aprovechado, como veremos más adelante)**.**

Es evidente que a **iguales condiciones de combustión**, la transferencia juega el rol más importante y esta, desde el punto de vista práctico significa que a cuanto más baja la temperatura de los gases expulsados por la chimenea de un diseño de caldera, mejor será su **Eficiencia de transferencia.**

Esto nos podría hacer pensar , que por lo general una caldera con menor vaporización por m2. (Kg. de vapor total divido por la superficie total de transferencia de la caldera, estos valores van desde

20 Kg./m2 hasta más de 50 Kg./m2), puede que tenga menor temperatura de chimenea, ya que parecería que tuviera una gran superficie de intercambio en relación a la producción de vapor (pero no siempre es así, una caldera mal diseñada o diseñada de esa manera puede tener baja vaporización por m2, puede dejar escapar los gases de chimenea a muy alta temperatura, como ocurre por lo general con las calderas verticales de un solo paso) y **puede haber calderas que "aprovechan" mejor el calor aún con un alto valor de generación por m2. de superficie** (generalmente se dá que cuanto más pases de gases tenga una caldera, menor será su temperatura de chimenea, lo que mejora la eficiencia, dependiendo del largo de los pases y la velocidad de los gases). Esto **nos permite pensar que si ponemos recuperadores de calor en los gases de chimenea: mejor será el aprovechamiento del calor**. **Esto está limitado en cada combustible a los problemas de corrosión y costo de los equipos recuperadores**. Ya que a más baja temperatura, la condensación de la humedad en los gases provoca la disolución de los elementos corrosivos, como el anhídrido sulfuroso y sulfúrico, más otros elementos ácidos de productos propios de una combustión incompleta, formando una solución altamente corrosiva. **Aunque en algunos casos es posible hasta aprovechar el calor latente del vapor de agua** en los gases de chimenea, especialmente cuando el combustible está libre de azufre u otros elementos corrosivos. Pero si utilizamos metales o materiales anti-corrosivos es posible recuperar casi cualquier calor residual de chimenea del combustible que sea, el problema es que sea rentable (muchas veces esto provoca contaminación local, en sus efluentes, que de otra manera la contaminación es atmosférica, que tampoco debe ser admitida al día de hoy).

Los **recuperadores de calor**, sino se aprovecha el calor latente (condensación del vapor que va en los gases) y salen los gases a una temperatura que no afecte la corrosión, **la recuperación de calor o sea el % de recuperación puede representar entre un 4% y hasta quizás un 10% en algunos casos** (con calderas que tienen mala Eficiencia de Transferencia o que queman combustibles de bajo contenido de elementos corrosivos).

Al proveedor de la caldera debemos exigirle que sea claro en referencia a la **Eficiencia de Combustión y Transferencia,** es decir que **nos diga el %** y **a que poder calorífico está referida (P.C.S. ó P.C.I.).** Ya sería muy poco preciso no aclarar a que P.Calorífico esta referida.

Esto debe ser comprobado luego en un ensayo cuando la caldera esté instalada. Para ello debemos de llevar la caldera a su

valor máximo de producción de vapor y controlando que haya una combustión completa (sin **gases sin quemar o CO**), tomar el exceso de aire en base al CO2 (anhídrido carbónico) u O2 (oxígeno), estando este exceso dentro del normal indicado por el proveedor.

Luego con la **temperatura de los gases**, con **el exceso de aire**, la **temperatura ambiente** (humedad relativa si afinamos el cálculo) y la **composición del combustible** (tanto su Poder calorífico Superior -P.C.S.- ó Inferior -P.C.I., la composición nos permite junto a los datos atmosféricos, saber el calor específico de los gases de chimenea, que por lo general se puede tomar entre 0,25 a 0,26 Kcal/Kg de gases), y con estos datos hacer el cálculo correspondiente para encontrar la **Eficiencia de Combustión y Transferencia**.

Esta Eficiencia estará afectada por el exceso de aire, por los gases sin quemar (CO y otros), por la humedad del aire, y en forma muy importante , por el **hollín o incrustaciones del lado del agua**, ya que "aislan" o dificultan el pasaje del calor del lado del fuego o gases calientes al agua o vapor.

Hemos querido decir, que cada caldera, de acuerdo al diseño, al tipo de combustible, al % de carga de combustión, a la presión de trabajo en la que se efectúa la medición, tendrá una EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA (que será máxima cuando se tenga la combustión completa del combustible, el exceso de aire mínimo y sin gases sin quemar, la caldera con buena transferencia: limpia de hollín e incrustaciones, mejorando a medida que baja la presión de trabajo y el **% de carga a medida que baja** (el % de carga aumentará las pérdidas en la Eficiencia Total, al perder la caldera calor al ambiente o sea, que la afecta la Eficiencia de la caldera como equipo térmico, tanto más cuanto menor sea la producción de vapor, debido a que la pérdida térmica de la caldera es fija de acuerdo a la presión de trabajo).

b- en Eficiencia Total.

La Eficiencia Total es aquella que realmente considera el % del calor realmente aprovechado en el vapor o el agua caliente producido por la caldera en referencia al calor total capaz de producir el combustible (referido al P.C.I. o al P.C.S.).

Aquí debemos aclarar, que la Eficiencia Total esta referida, al calor realmente entregado por la caldera, es decir: que si bien la temperatura del agua de alimentación puede afectar dicha Eficiencia en otros parámetros (como los Kg. de vapor/hora), **debemos dejar en claro, que el calor realmente tomado en la caldera es igual al CALOR total del vapor, menos el Calor suministrado en agua de**

alimentación.

Calor Suministrado = Calor vapor - Calor agua alim.

La diferencia entre estas dos Eficiencias (la EFICIENCIA TOTAL respecto a la EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA)**, es el calor perdido en el cuerpo de la caldera a la sala de caldera, sumada a las purgas y pérdidas de agua y vapor.**

Si pensamos en esta diferencia, estamos pensando en la **aislación de la caldera** respecto a la sala de caldera, el **tamaño o dimensión de la caldera** como cuerpo físico o expuesto, a la **calidad del agua de reposición y al % de condensado de retorno** (y su calidad térmica), **quienes definen el % de purga** (la purga continua, de fondo o de niveles : agua caliente a temperatura de vaporización que se tira o se recupera en parte dicho calor con recuperadores).

Es importante que el proveedor suministre el valor de la Eficiencia Total (considerando las purgas a 0%)**, ya que está condenada al diseño de la caldera, cosa que luego no podremos alterar fácilmente, pero sí hacer que se trabaje en el punto óptimo o de máxima EFICIENCIA.** Una caldera con un diseño con mucho refractario al exterior, tendrá muchas pérdidas, ya que el refractario se puede aislar hasta cierto punto, un exceso de aislación puede provocar la "quema" o desgaste del refractario o el metal si la aislación se pretende hacer por fuera del mismo (de aquí que la mejor opción es la utilización de paredes refrigeradas con la propia agua de la caldera, como capillas, doble cámaras, y luego aislar todo lo que se pueda, ya no habrá peligro de excesos de temperatura en la estructura).

Esta Eficiencia está afectada por todas las que afectan a la Eficiencia de Combustión y Transferencia, además de las nombradas anteriormente, ya que la **EFICIENCIA TOTAL** es el producto de la **EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA x** la **EFICIENCIA de la CALDERA como equipo térmico**. A esta Eficiencia como equipo térmico, la definimos matemáticamente como la relación expresada en %, como :

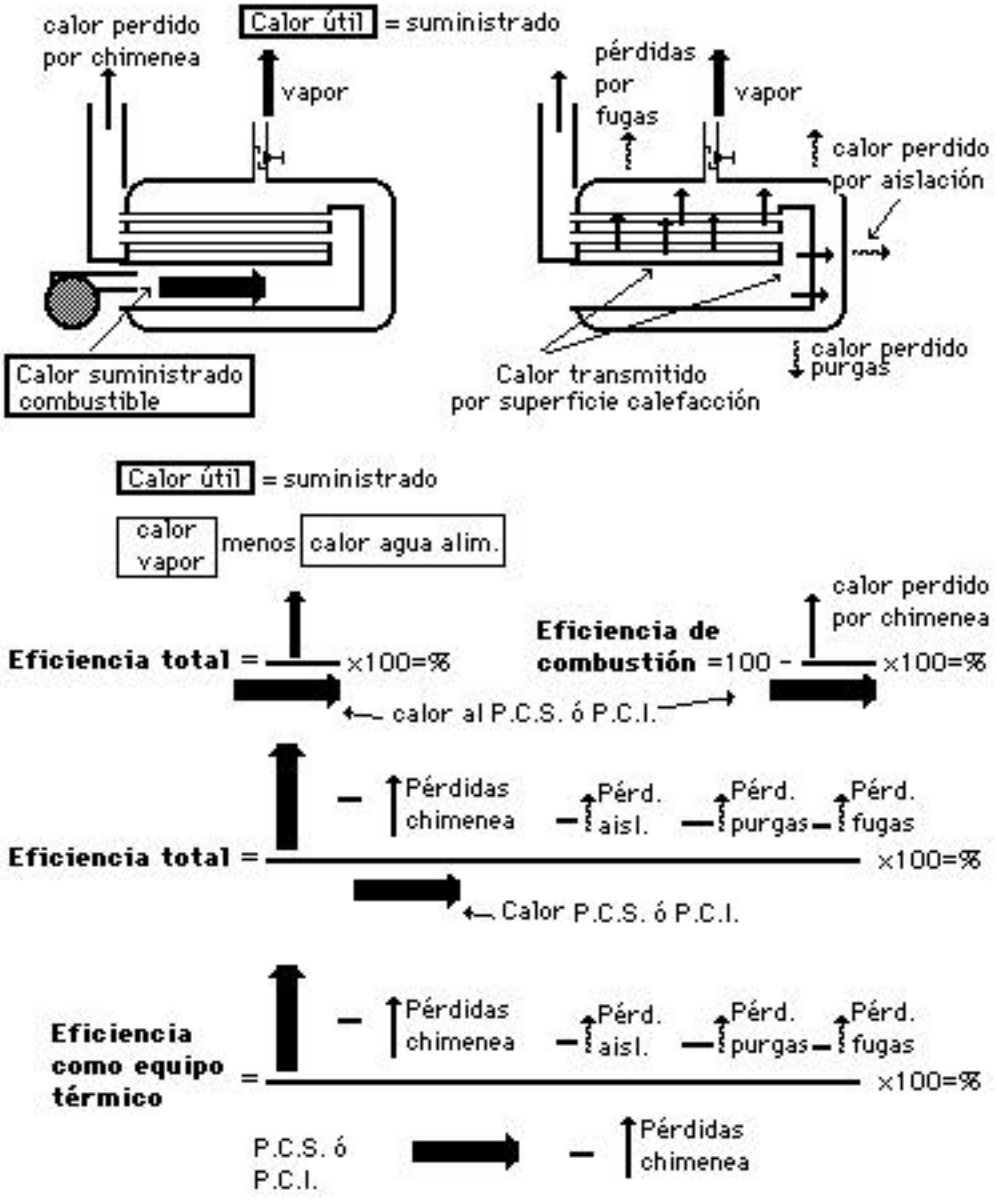
(EF. Total / EF. Comb. y Trasnf.) x100 = % EFICIENCIA COMO EQUIPO TÉRMICO.

Es el % del calor realmente entregado por la caldera al

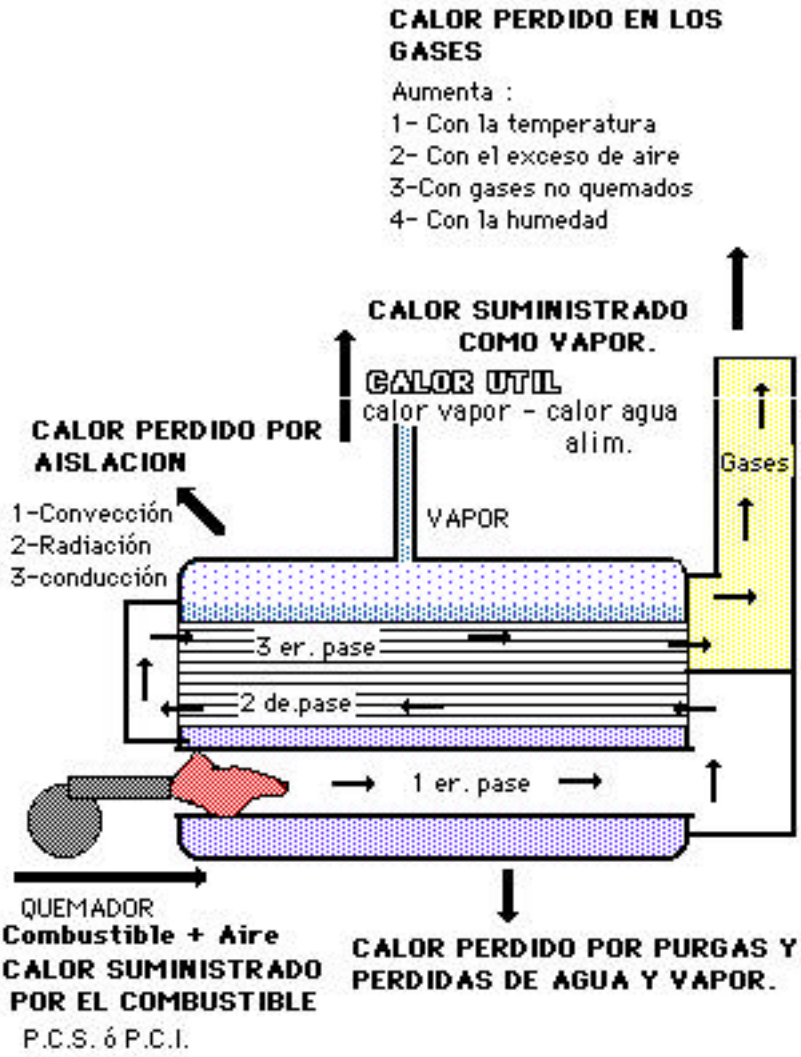
vapor del calor total recibido por la caldera producido por la combustión (o visto de otro modo, es el **% de calor como calor útil** que realmente a **quedado** en la caldera : o sea, este **calor que ha quedado en la caldera**, es el **calor que han recibido las superficies de intercambio del agua y el vapor** (la que luego se irá con el vapor y las que se han ido por las purgas y las pérdidas de agua y vapor, las pérdidas por aislación, **además** como las que se pierden por zonas de refractarios o puentes térmicos) o de otra manera, **es el % de calor aprovechado del calor total al P.C.S. ó P.C.I. menos el calor perdido por chimenea**.

Veamos en forma gráfica estas relaciones, recordando que el **calor útil tomado en la caldera, es igual al calor total del vapor menos el calor suministrado por el agua de alimentación:**

En forma general, estas relaciones que he puesto en forma visual, la llevaremos más adelante en forma matemática, de manera de darle una utilidad real, para la comparación y la optimización del uso Eficiente de la generación del vapor.



En la figura siguiente, establecemos los elementos que afectan el comportamiento Eficiente de las calderas, pudiendo luego en cada tema, ajustar los detalles:



El **calor útil o calor suministrado** como vapor, es realmente el **calor tomado en la caldera**, es decir, que **debemos descontar el calor suministrado en el agua de alimentación**, por eso, cuando nos referimos a este calor útil o suministrado, **estaremos refiriéndonos a la Eficiencia de la caldera, pero cuando nos estemos refiriendo a todo el calor del vapor** (en la que se ha sumado el calor del agua de alimentación) **nos estaremos refiriendo a la Eficiencia de la producción de vapor** (o Kg. de vapor logrado por Kg. de combustible).

Debemos prestar mucha atención cuando nos referimos a las EFICIENCIAS a que poder calorífico nos estamos refiriendo:

Cuando nos referimos al **P.C.S**. (**Poder Calorífico Superior**,

estamos considerando el calor suministrado por 1 Kg. de combustible en la cual se ha considerado la combustión completa y **referida a 0º C** y que el **calor de vaporización** del agua que trae el combustible y la que se forma (se forma de agua-**H2O**-, **9 veces** el peso del hidrógeno -**H**- que contiene el combustible) , han entregado su **calor latente de vaporización, que en la práctica los tomaremos como 600 Kcal/Kg -** Kilocaloría por kilogramo, recordar que 1 Kcal. es igual **al calor necesario para elevar 1ºC a 1 Kg. de agua,** tomada en el entorno de 14,5ºC a 15,5ºC, ya que la misma varía un poco al variar la temperatura, también se podría considerar en trabajar utilizando medidas inglesas como el **B.T.U.**, ver tablas al final).

Cuando nos referimos la **P.C.I** (**Poder Calorífico Inferior**, estamos considerando el mismo calor anterior **menos el calor latente de vaporización del agua que viene el combustible y la que se forma por la combustión del hidrógeno del combustible**, generalmente la diferencia se toma como la cantidad de agua formada y traída por 1 Kg. de combustible por 600 Kcal/Kg., en una palabra:

P.C.I. = P.C.S. - H2O (agua) **x 600 Kcal/Kg.**

Como estos dos Poderes caloríficos son numéricamente distintos (a pesar de indicar lo mismo o sea el poder calorífico de un mismo combustible), como el **P.C.S.** es **numéricamente** mayor que el **P.C.I.**, cuando para una caldera hagamos el cálculo utilizando los dos poderes caloríficos, veremos que el referido al **P.C.S.** dará un % menor que el referido al **P.C.I.**, aunque si consideramos a que poder calorífico están referidos, significan lo mismo (no así si **no** sabemos al % a que poder calorífico está referido, **ya que siempre se deben comparar la Eficiencias referidas a los mismos P.C.**). Esta diferencia aumenta en la medida que los combustible contienen **más hidrógeno** como en los combustibles más livianos o gases o como el caso de la leña que trae ya el agua formada como humedad.

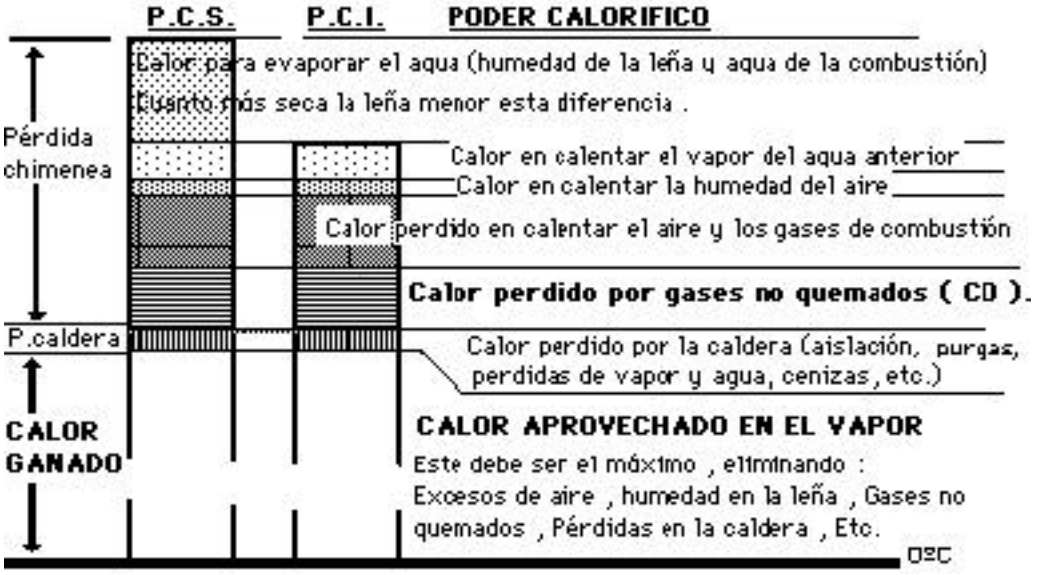
Podemos considerar en forma general que las EFICIENCIAS referidas al P.C.S. representan más el comportamiento de los combustibles que de la propia caldera.

La EFICIENCIAS referidas al P.C.I. resultan más adecuadas al comportamiento de la caldera y no tanto al combustible (cuando tiene o forma agua al quemar el hidrógeno).

Por lo general en Uruguay, utilizaremos las **EFICIENCIAS** referidas al **P.C.I.** (casi en muy pocos paises se usa referidas la P.C.S., como puede ser en U.S.A.).

Veamos en forma gráfica como visualizar los Poderes caloríficos de un mismo combustible y como al referirnos a su relación

con las EFICIENCIAS, vemos que la diferencia está en el calor que en la práctica realmente se puede aprovechar. Es decir, cuando nos referimos a las EFICIENCIAS referidas al **P.C.I.** estamos estamos descontando que no podremos aprovechar el calor latente del agua formada en la combustión del hidrógeno y el agua vaporizada de la humedad del combustible, **ya que se supone que las calderas por lo general no tienen un sistema de recuperación de este calor latente** (pero los tiempos modernos nos están dando ya calderas que en determinados combustibles este calor se puede recuperar, lo cual si nos referimos su EFICIENCIA al P.C.I. dará un % superior a 100% de EFICIENCIA, lo cual no parece correcto).


P.C.S.
P.C.I.
PODER CALORIFICO
Calor para evaporar el agua (humedad de la leña y agua de la combustión)
Cuanto más seca la leña menor esta diferencia .
Pérdida chimenea
Calor en calentar el vapor del agua anterior
Calor en calentar la humedad del aire
Calor perdido en calentar el aire y los gases de combustión
Calor perdido por gases no quemados (CO).
P.caldera
Calor perdido por la caldera (aislación, purgas, perdidas de vapor y agua, cenizas, etc.)
CALOR GANADO
CALOR APROVECHADO EN EL VAPOR
Este debe ser el máximo , eliminando :
Excesos de aire , humedad en la leña , Gases no quemados , Pérdidas en la caldera , Etc.
0ºC

Observando la figura anterior, nos permite visualizar el porqué las EFICIENCIAS referidas al **P.C.S. numéricamente son menores que las referidas al P.C.I., pero que ambas si tenemos en cuenta a qué poder calorífico están referidas, indican lo mismo** (pero si mezclamos Eficiencias referidas una al P.C.S. y otra al P.C.I. , realmente cometemos un gran error).

Establecidos los parámatros básicos para entender la EFICIENCIA, pasemos a los temas que nos obliga la ruta trazada:

La EFICIENCIA al comprar la caldera

La compra de la caldera es un evento muy importante, ya que **nos "casaremos"** con ella (es decir que una vez comprada, estamos "atados" a su diseño).

Debemos de partir de la elección de compra, en tener en cuenta todos aquellos elementos necesarios para lograr una **caldera segura**: diseño , construcción y pruebas bajo normas. Dentro de estas normas, una de las más importante es la **potencia de combustión por m3. de hogar**, para estar en **un valor razonable** para evitar problemas de transmisión de calor en la zona del hogar, que generalmente está **en relación a la calidad del agua de reposición.** Este valor generalmente deberá estar por debajo del **1.250.000 Kcal/m3**, dado que cuando el agua de reposición es de mala calidad, alta alcalinidad fundamentalmente, los problemas de **circulación interna del agua** nos acercan al riesgo de colapsar el hogar por una circulación interna del agua que se hace dificultosa o al llegar a ese valor **las condiciones de combustión se hacen difíciles** si el sistema de combustión no reune las características adecuadas a una combustión altamente concentrada.

La otra consideración en la **transferencia por m2**, de superficie de hogar en punto **"pico" o de máximo flujo de transferencia de calor,** ya que compromete la integridad del hogar si la transferencia en dicho punto comprometido pasa de determinado valor (algunas normas lo fijan en **250.000 Kcal/m2** como máximo). **Esto también está ligado a la calidad del agua.**

Además de **exigir** las **Eficiencias** (que deberán expresarse claramente a que Poder calorífico están referidas), habrá que considerar el mantenimiento y reparaciones futuras a que será sometida la caldera. En lugares que hay mala calidad de agua de reposición, la limpieza mecánica de la parte de agua podrá ser importante o donde la contaminación de los condensados así lo ameriten, ya que la **seguridad** y la **Eficiencia** se verá altamente afectada.

Comprar una caldera con diseño inadecuado al agua de reposición podrá ser una muy mala compra.

Queremos decir, que una elevada EFICIENCIA en una caldera es un dato de muchísima importancia, a la cual debemos agregar las consideraciones operativas de marcha normal, riesgo y mantenimiento:

Por ejemplo:
Si la caldera tiene alta EFICIENCIA con la **ayuda** de un

economizador o calentador de aire, debemos de considerar los **problemas de la corrosión** asociada al tipo de combustible: por ejemplo, si utilizaremos F. Oíl pesado o de calefacción, el tenor de azufre es un problema de suma importancia, ya que si hay zonas frías se producirán corrosiones (por lo general el metal de hierro deberá estar por encima de los 180ºC, salvo que sean construidos de metales más nobles que soporten la corrosión, como ser en algún tipo de acero inoxidable, aunque el único ideal sería a base de titanio o una aleación adecuada). **No solamente el F. Oíl que tiene por lo general azufre que será corrosivo, también la leña y los gases cuando hay mala combustión producen elementos corrosivos del tipo orgánico:** ácidos piroleñosos, etc. . Si es un **economizador**, se deberá **precalentar** el agua de circulación a un mínimo, e igualmente pasará si es un calentador de aire, habrá corrosión en la zona de entrada de aire frío, lo cual muchas veces habrá que precalentar el aire frío.

Con los **precalentadores de aire**, se logra una aumento de la Eficiencia, no solamente por la recuperación de calor en los gases de chimenea, sino que por lo general, el aire caliente se utiliza en la propia caldera como aire de combustión, que por lo general **mejora la combustión** (en algunos combustibles, como la leña es muy importante, ya que se logra bajar el exceso de aire y se logra quemar leña con un tenor de humedad mayor).

La recuperación con un calentador de aire o un economizador es de una incidencia bastante importante en la medida que el mismo actúe sobre la temperatura de chimenea, bajándola en un salto térmico que permita la recuperación de energía perdida (por lo general este salto térmico puede ser unos 80ºC a 120ºC, lo que permite una recuperación de 4% a 6%, valores que como veremos muchas veces perdemos por el exceso de aire o el ensuciamiento de la caldera con hollín).

La instalación de economizadores y precalentadores de aire, provocan un agrandamiento real del potencial de generación de la caldera, ya que produciremos más vapor con la misma cantidad de combustible.

Para mantener la EFICIENCIA en la caldera, las superficies de transferencia de ambos lados (combustión o agua y vapor) deben estar <u>limpias</u> (del lado del agua depende del tipo de **incrustaciones**, ya que la composición y estructura, hacen que sea mucho **menos aislante que el hollín**, la superficie del lado del agua debe tener una capa de **óxido magnético que protege a la superficie de una corrosión generalizada**, de lo contrario el hierro tiende a "disolverse" en el agua)**.** Esto lleva que no solamente se deben lograr buenas combustiones, para evitar la "aislación por hollín", o los

depósitos de incrustaciones o barros que puedan "aislar" del lado del agua la transferencia de calor (más peligroso que el problema del hollín, ya que permiten el recalentamiento local del metal). Ambos problemas son a tener muy en cuenta, ya que la caldera deberá tener buenos accesos para la limpieza de dichas superficies (aunque del lado del agua en la actualidad se utilizan más las limpiezas químicas que las limpiezas mecánicas, pero es muy aconsejable los manguereados periódicos y la inspección visual al hacerlo).

Generalmente el ensuciamiento de hollín produce la mayor pérdida de EFICIENCIA, ya que el hollín es muy aislante (la pérdida puede ser de más del 15%), **esta pérdida aparece expresada en la elevación de la temperatura de los gases en la chimenea**, muchas veces en pocas horas de mala combustión la caldera se ensucia. La **pérdida debida a las incrustaciones**, que por lo general se notan en largos períodos de marcha, la temperatura de chimenea sube poco a poco. **En el caso del hollín se nota la diferencia después de cada limpieza de hollín**, pero en el caso de las incrustaciones, como la limpieza química no es algo aconsejable que se haga frecuente, ya que agrede algo a la caldera y tiene un costo muy importante, será difícil poder constatar la diferencia, salvo que se lleve un historial y **que siempre se comparen iguales condiciones de caldera**.

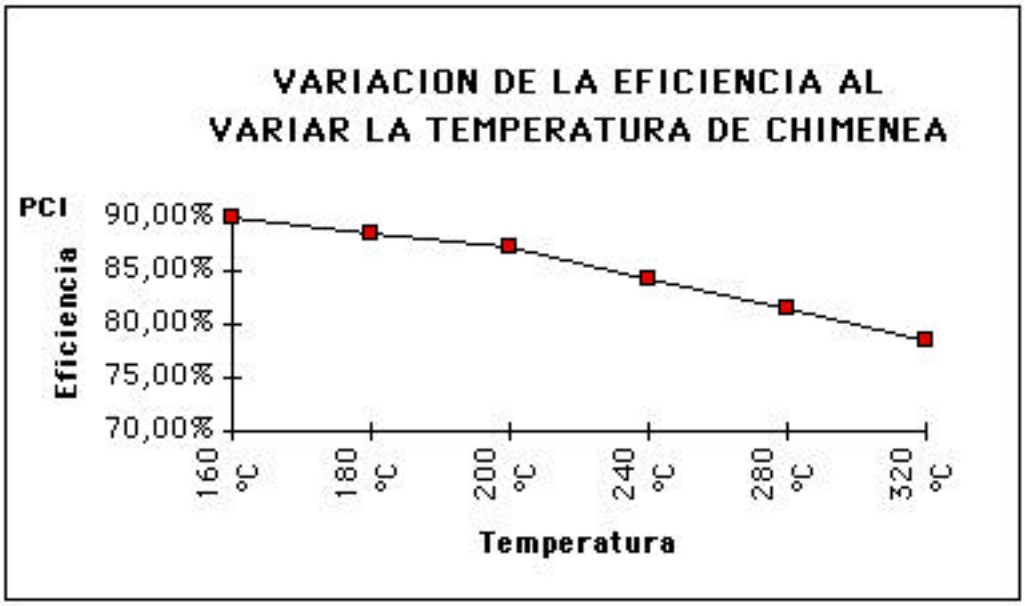
Los economizadores y los precalentadores de aire, del lado de los gases, la limpieza con un sistema de agua caliente, dá buenos resultados (en estos casos hay que elevar el PH de esta agua caliente, para evitar la corrosión ácida y secar inmediatamente luego de lavado el equipo, se puede utilizar ceniza de soda o soda para elevar el PH, evitando el uso de cal que es corrosiva). La utilización de **sopladores de hollín** a base de **vapor o aire**, tienen un buen relativo resultado, por lo que es necesario las limpiezas más profundas indicadas (el uso del agua caliente alcalinizada).

Recordar siempre, que si la pérdida por incrustaciones, si bien es menor (entre 3% a un 8%), **genera un gran riesgo de recalentamiento del metal: que lleva a la corrosión, deformación o quema del mismo** (con riesgo de accidente).

Veremos las incidencias de la temperatura de gases en chimenea en la **EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA** (tanto hollín como incrustaciones).

En la gráfica siguiente veremos :

EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN AL PCI VARIANDO LA TEMPERATURA DE CHIMENEA (leña con 25% humedad en b.h., 13%CO2 y 0% CO, significa un exceso de aire aprox. del 50%, temperatura ambiente 20ºC, con una presión de trabajo de 10 Kg/cm2) y **producción de vapor constante**.

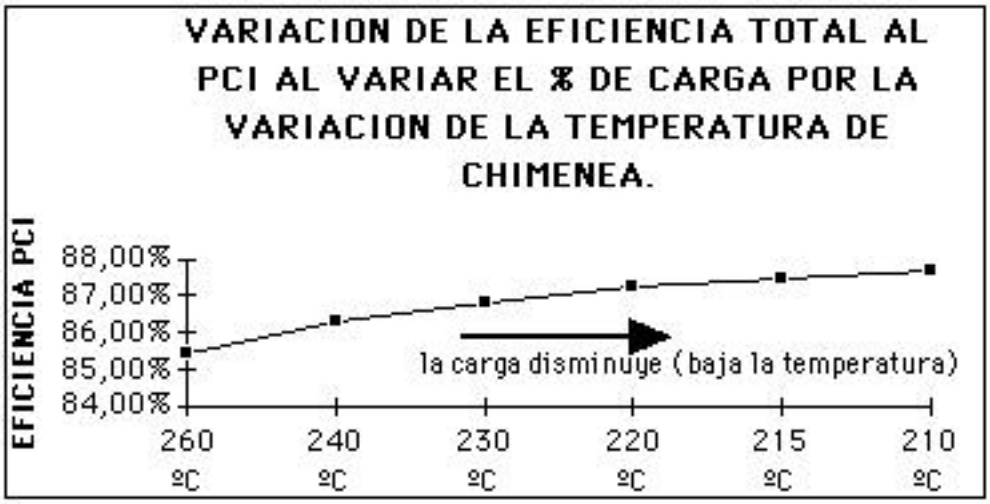


Veremos que las pérdidas dependerán no solo de la temperatura, sino de la **composición de los gases**, es decir, en el caso de la leña la humedad de la misma influye en gran forma, ya que el calor latente y sensible del vapor de agua es bastante más alto que la de los otros gases : CO2, N2, etc..

Por ejemplo: en el caso de **F. Oíl pesado**, podemos calcular las pérdidas en gases de chimenea respecto a la transferencia (hollín e incrustaciones) y la **incidencia del % de carga** en la temperatura de chimenea :

A medida que la caldera aumenta su carga o sea su % de producción, **la temperatura de chimenea sube y con ello la pérdida por COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA** (o sea disminuye la EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA).

En la gráfica siguiente, la hemos trazado, utilizando una caldera del F. Oíl pesado, en el que hemos supuesto que si bien la carga ó % de producción, hace variar la EFICIENCIA como equipo térmico, **la hemos dejado constante,** es decir**, hemos supuesto que la EFICIENCIA de la caldera como equipo térmico no varía, a los efectos de ver la incidencia de la temperatura de chimenea en forma exclusiva.**



Pero una condición importante al comprar la caldera es la consideración de la caldera como <u>equipo térmico</u>, es decir, una vez que el calor a pasado al seno del agua y el vapor en el interior de la caldera (también a la estructura de material, hierro y refractarios), **cuanto de ese calor es realmente llevado por el vapor, es quien define la EFICIENCIA TOTAL.**

Podemos decir que la EFICIENCIA TOTAL de una caldera es el producto de le EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA por la EFICIENCIA DE LA CALDERA COMO EQUIPO TÉRMICO.

Por ejemplo: cuando decimos que la caldera tiene una EFICIENCIA COMO EQUIPO TÉRMICO de **99%** (con las purgas cerradas, a una presión de 10 Kg/cm2, este valor es importante ya que define el salto térmico con la atmósfera de la sala de calderas), **estamos diciendo que el 1% del calor que se ha dejado en la caldera o perdido a la sala de calderas** (del calor total del combustible menos el calor perdido por la chimenea) **se pierde por la aislación** (y tapas), **de la caldera al ambiente cuando la caldera está al 100% de su capacidad** (en condiciones standard de la atmósfera)**.** Pero si bien ese valor **aparentemente tan bajo en %**, **es porque en realidad está referido a la máxima capacidad de calor**, pero la eficiencia de la caldera tendrá **un máximo de EFICIENCIA TOTAL** que generalmente se encuentra **próximo** a cuando la caldera **funciona al 70%** de su capacidad, **dado que la temperatura de chimenea baja al bajar la carga de marcha, pero luego la pérdida por efecto de la EFICIENCIA TÉRMICA aumenta en % al disminuir la carga referida al calor suministrado** (las pérdidas térmicas son constantes, dependen

de la presión de trabajo y de las condiciones ambientes, además de considerar purgas y pérdidas de agua y vapor cuando la caldera se considere en marcha normal) **, estos dos efectos opuestos, hace que la EFICIENCIA Total a un 70% de capacidad de la caldera sea por lo general la mejor.**

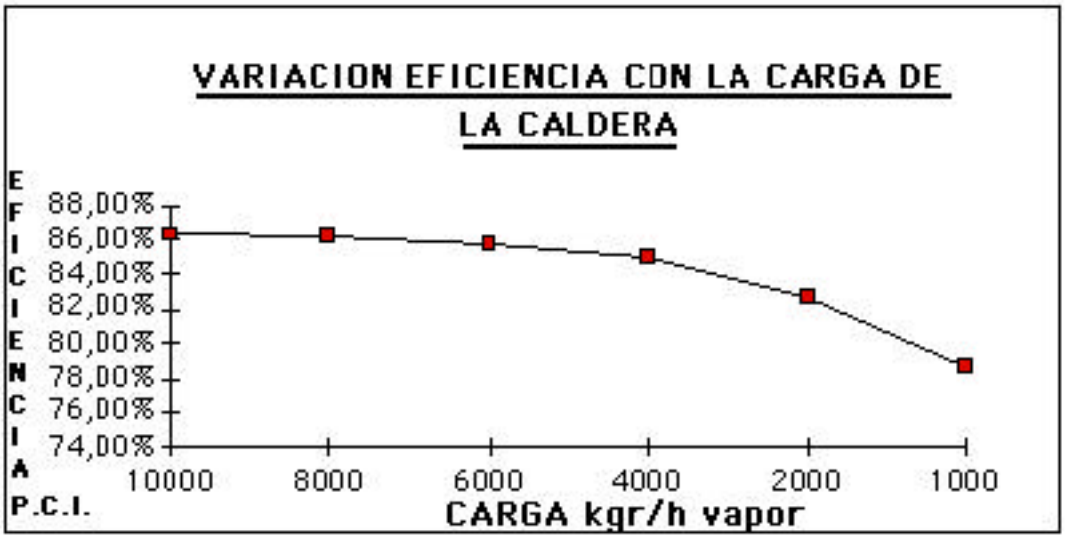
Aquí no solo el diseño de la caldera influye, sino que la capacidad a la cual es utilizada en la vida real es muy importante.

Esto afectaba mucho a las calderas antiguas, que tenían una gran dimensión en relación a su capacidad de generación, que yo he llamado "efecto edificio", es decir, cuando más grande es el tamaño de la caldera en referencia a su capacidad, como ocurre con la calderas antiguas, menor será su EFICIENCIA TÉRMICA o mayor su pérdida a la sala de caldera.

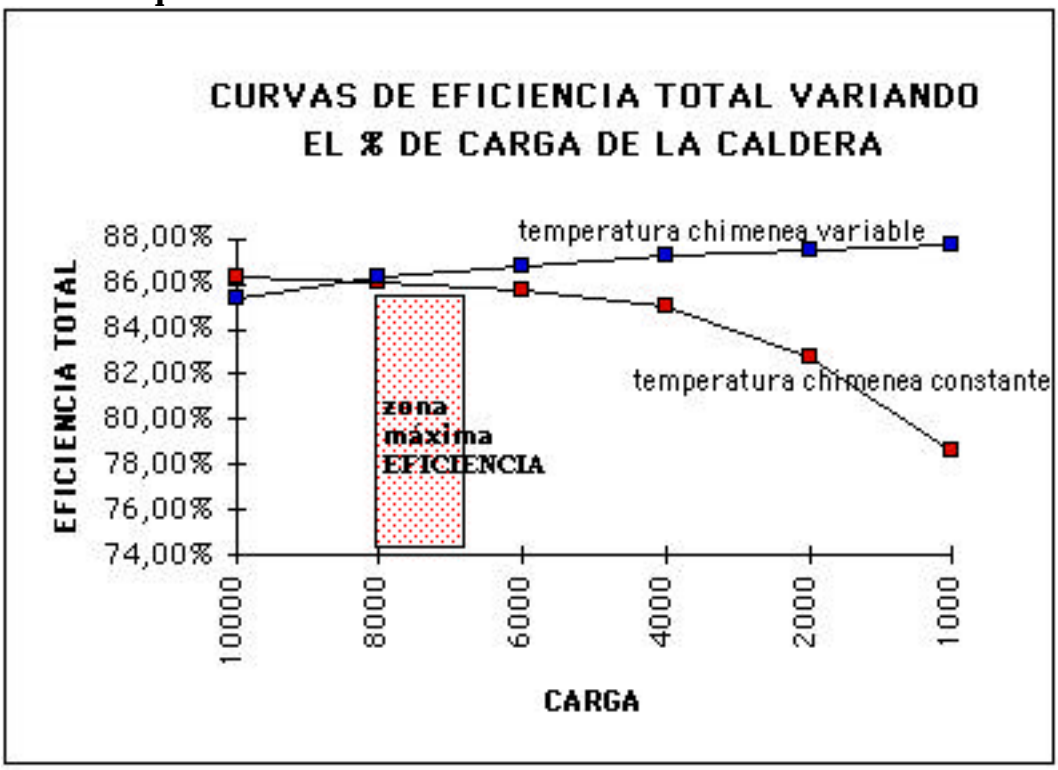
Con esto queremos decir que cuando compramos una caldera, **debemos de tratar de trabajar en el entorno de su máximo rendimiento** (lo mismo pasa con la marcha de los automóviles, cuya máxima velocidad de economía anda a los 90 Klm/h a 110 Klm/h, aún cuando el auto tiene otras velocidades de economía en otros parámetros, pero las curvas de consumos se cruzan por lo general a esa velocidad de marcha).

La gráfica siguiente, se refiere a la alteración de la EFICIENCIA, variando la carga en una caldera que parte de 10..000 Kg/hora, variando su carga hasta los 1.000 Kg/hora. **Aquí hemos dejado la temperatura de chimenea constante, para ver la variación sin que esta interaccione con el resultado.**

La EFICIENCIA en este caso disminuye con la disminución de la carga.



Si juntamos las curvas anteriores, **el efecto de ambas se tienden a compensar, pero hay un punto, en la práctica, próximo al 70% en que la EFICIENCIA TOTAL es máxima.**



RESUMIENDO, al comprar una caldera, debemos de tener en cuenta:

1- Que su capacidad sea lo suficiente para trabajar en el entorno del 70% o donde supuestamente mejora su condición de EFICIENCIA (tanto una caldera "demasiado grande" o "demasiado chica", serán de un rendimiento más bajo que el logrado cuando se tiene la caldera del tamaño adecuado).

2-La EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA debe ser tenida muy en cuenta y para evaluarla se deberá tener a que valor está referida (P.C.S. ó P.C.I.) **ya que de esto depende su interpretación, la referida al P.C.I. evalúa mejor el comportamiento de la caldera y la referida al P.C.S. al comportamiento de determinado combustible con la caldera** (es decir, ambos están siendo evaluados).

Por ejemplo: **una misma caldera** quemando distintos combustibles tendrá EFICIENCIAS muy diferentes cuando se expresen referidas al P.C.S. , pero si la referimos al P.C.I., ambas serán prácticamente casi iguales, lo cual permite una mejor evaluación de la caldera (no olvidar que las EFICIENCIAS se deben de medir en iguales condiciones de carga, presión de vapor, temperatura agua de alimentación y en lo posible con el mismo exceso de aire).

3-¿Fondo húmedo, semi-húmedo o fondo seco, en calderas humo-tubulares ?

Bien, es evidente que desde el punto de la EFICIENCIA el **fondo húmedo** es el mejor, ya que el 100% del calor del primer pase al pasaje del segundo pase está totalmente sumergido en el agua de la caldera humo-tubular; en el **fondo semi-húmedo** tendremos un poco de pérdida, debido a que por lo general la pared posterior de refractarios con aislación seca estará expuesta a la sala de caldera (hay calderas que pueden tener también paredes de tubos en la parte trasera de la cámara de pasaje), por lo que habrá una menor pérdida de calor a la sala (recordar que cuando hay refractarios debe haber siempre un cierto "enfriamiento" o pérdida de calor, por el ladrillo aislante, de lo contrario todo el refractario estará a la máxima temperatura de la zona expuesta a los gases calientes o combustión, lo que llevará al deterioro de los materiales aislantes y de la estructura con el tiempo).

El fondo seco, ya no es deseable, no solamente por el costo de mantenimiento del refractario, sino por las pérdidas térmicas a la sala de caldera.

Hay que evaluar, que algunas calderas, tienen doble forro, por el que pasa el aire que será utilizado en la combustión, lo cual hace que la pérdida disminuya, ya que el salto térmico entre dicho aire y la sala de caldera, es totalmente aislable por su baja temperatura.

4-La aislación general de la caldera, esto parece un tema menor, **pero es muy importante**, siempre tendremos un salto térmico,

especialmente en los meses de invierno, dependiendo además de la velocidad del aire de la sala de calderas, lo cual hace que los 365 días del año estemos perdiendo energía, aún por los accesorios y elementos de seguridad instalados en el cuerpo de la caldera (está de moda poner una **columna hidrométrica o repetidora de nivel de la caldera** con un gran diámetro y lo que provoca una gran superficie expuesta a la sala de caldera, en donde son conectados los controles de nivel, niveles visuales, grifos de purgas, todos estos elementos son superficies de pérdidas radiantes y convectivas. **Creo que si el fabricante de calderas pagara la energía perdida por este sistema al cabo de un año : no lo pondría más.** Por lo que aconsejo que estas columnas repetidoras sean aisladas, con aislación común, cordón aislante o mantas, dando una terminación prolija, pero que aisle esta pérdida).

4-Verificar todos los dispositivos de inspección y limpieza, ya que la caldera para que sea EFICIENTE, debe estar siempre limpia de hollín y de incrustaciones o barros.

5-La presión de trabajo, he aquí todo un tema: las pérdidas a la sala de caldera, cañerías, equipos, etc. estarán en proporción al salto térmico (por más aisladas, además todos las partes expuesta sin aislación : válvulas, platinas, trampas, etc. que estarán a mayor temperatura), es decir, que **cuanto más alta sea la presión de vapor, mayor será la pérdida** . Si bien, no podemos comprar una caldera de muy baja presión, ya que pueden haber razones de proceso para luego subir la presión, **la primer medida de ahorrar combustible será bajar la presión de vapor.**

Ejemplo: la temperatura de un sistema de 10 Kg/cm2 de presión de vapor, estará a una temperatura de 183ºC, si el mismo sistema se puede trabajar a 5 Kg/cm2 la temperatura bajará a 158ºC, **hay un salto térmico de 25ºC menor en el de 5 Kg/cm2, pero también será interesante la disminución de la pérdida por el vapor de flash** (re-evaporación del agua a sobre presión en los sistemas con trampas de vapor, que al descomprimirse al pasar por la trampa de una presión de trabajo, saturado a una temperatura mayor por dicha presión, baja a una presión de condensado de retorno próximo a las condiciones atmosféricas), **aquí habrá una pérdida muy importante** (vapor de flash que veremos más adelante como utilizarlo para recuperar dichas pérdidas de calor y agua pura para el retorno a la caldera).

Ver tablas de vapor al final del libro.

6-Calidad del agua disponible. En esta caso también será importante al elegir el tipo o modelo de caldera, **la presión de trabajo más baja posible**, ya que al contemplar la calidad de agua de reposición, dado que es muy diferente el comportamiento de las

distintas calderas y sus presiones, tanto en la calidad del vapor deseable,como el régimen de purga (límites máximos disminuyen al aumentar la presión: de T.S.D., PH, Alcalinidades, Sílice, etc) **.**

Dado que la EFICIENCIA estará también en la problemática de los ciclos de concentración que permite cada caldera, presión y condición deseable del vapor. Es decir, que una caldera humo-tubular, de gran volumen de agua en relación al vapor (por lo general una caldera de reacción lenta), podrá soportar mayor ciclos de concentración del agua de reposición, al poder trabajar con un elevado Total de Sólidos Disueltos (TDS) y otros valores más elevados (lo que disminuye dramáticamente las purgas, tanto continua como de fondo). Los límites de Sólidos en Suspensión, también pueden ser una limitación (aunque hoy en día no es concebible que se trabaje con precipitación interna en la caldera).

Por lo general las calderas acuo-tubulares soportan menos esta condición, más aún cuando trabajan a presiones más elevadas que las calderas humo-tubulares, lo cual obliga a mayores purgas (o sea, se deben trabajar a menores límites fisicoquímicos).

Recordar que el agua de las purgas, se hacen a la presión de trabajo (fundamentalmente las que regulan los ciclos de concentración como la purga continua-no olvidar que hay purgas de fondo o colectores, en las calderas, que no deben hacerse en estas condiciones, especialmente en altas presiones)**, esto significa que el agua de purga tendrá la temperatura del vapor saturado y por supuesto su calor será el correspondiente al agua sobrecalentada** (que habrá que tratar de recuperar en intercambiadores), **pero además estamos perdiendo agua tratada** (ablandada o desmineralizada, que tienen un costo, más los productos químicos para el tratamiento químico interno).

Si la calidad del vapor disponible obliga a una pureza mayor (cualidad), también esto se reflejará en el tipo de caldera y el % de purga (energía perdida). Muchas veces será conveniente buscar la "pureza" del vapor con la instalación de separadores y filtros externos, que tendrán un éxito relativo, ya que además de "gotitas" de agua de caldera en el vapor, pueden haber arrastres de agua o algo más temible como el "priming" (un **arrastre masivo de agua de caldera**, capaz de provocar un **golpe de ariete** en las cañerías sobre los consumos de vapor o un problema más grave, como el colapsado del hogar de la caldera humo-tubular, generalmente este problema está relacionado a niveles de altos consumos de vapor, en momentos que se han rebasados los límites químicos que afectan la tenso-actividad del agua o que haya una contaminación del agua de caldera de un elemento tenso-activo que ha venido en el condensado o por la lineas de vapor al parar la caldera, estos elementos tenso-activos contaminantes podrán

ser como la soda o elementos orgánicos del proceso en que se trabaja).

En las páginas siguientes veremos otros aspectos al elegir la caldera, como su combustible, su agua de reposición, su quemador, etc.

EFICIENCIA EN LAS CALDERAS:

Como medir la EFICIENCIAS EN CALDERAS. Esta parte es copia del : "El Pequeño Manual del Foguista" del mismo autor.

La medición de la eficiencia en las calderas significa la **evaluación** o medida del **porcentaje** (%) del **aprovechamiento del calor capaz de suministrar un combustible**. Este calor suministrado por el combustible podrá estar referido al Poder Calorífico Inferior (**P.C.I.**) o Poder calorífico Superior (**P.C.S.**). En las calderas podemos establecer, a grandes rasgos, en dos las pérdidas de calor: Una provocada por el **calor que perdemos al salir los gases** calientes **por la chimenea** (el aire y el combustible que forman esos gases se consideran a la temperatura de la sala al tomarlos para su combustión, aunque el combustible en algunos casos se calefacciona de una fuente exterior como ser eléctricamente, pero en la práctica la mayoría de los casos lo tomaremos como se indico al principio) y la segunda es la **pérdida provocada por la caldera como cualquier equipo térmico** (pérdidas de calor por la aislación, por las pérdidas de agua y vapor, incluyendo las purgas necesarias, etc.).

Eficiencia de la combustión:

Si consideramos solamente la evaluación de la primera pérdida (por los gases de chimenea), podemos decir que estamos evaluando la **eficiencia de la combustión**: En este caso estamos considerando el calor que quedó en la caldera, no así el que es transferido realmente al vapor. Comparando mediciones hechas en la misma caldera en un corto tiempo, realmente estamos comparando su calidad de combustión (exceso de aire, gases no quemados, etc.). Si **comparamos calderas distintas o en momentos distantes de una misma caldera**, esta eficiencia de combustión está también juzgando las **condiciones de transferencia** de la superficie de calefacción (sucias de hollín, incrustaciones del lado agua, etc.) y de pérdidas directas al exterior (hogar de refratactario, envueltas refractarias, etc.), pudiendo también considerarse aquellos casos de roturas interiores de elementos que conducen a los gases calientes hacia las superficies de intercambio (bafles, diafragmas, torbellinos,etc.), este caso se nota fundamentalmente por el aumento de la temperatura de los gases en chimenea.

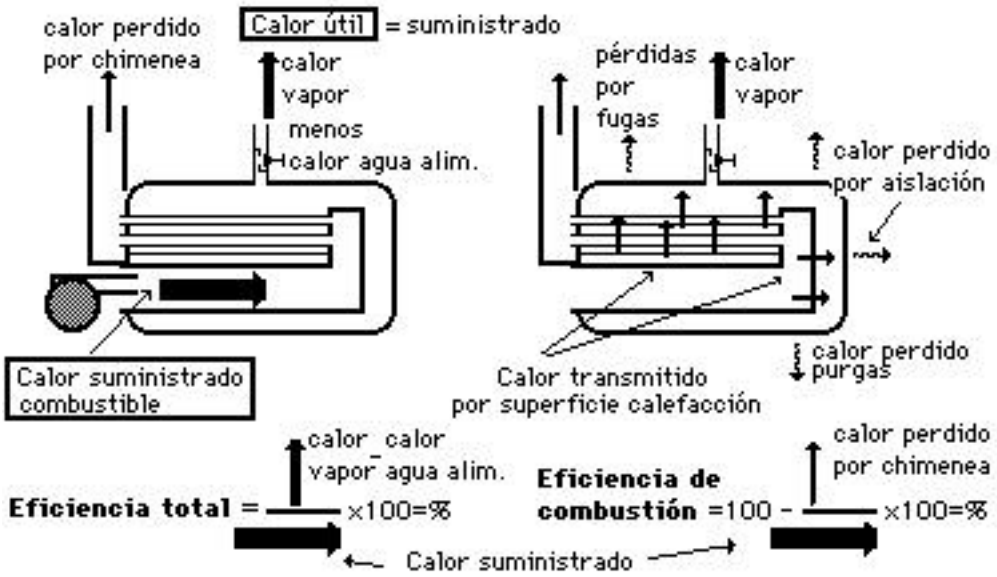
Considero que esta Eficiencia debería llamarse EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA.

Eficiencia de la caldera como equipo térmico:

En este caso estamos considerando el **% de calor suministrado al vapor** del total de **calor que ha quedado en la caldera**. El calor que ha quedado en la caldera es el % que nos da el cálculo o medición de la **eficiencia de combustión y transferencia.**

El calor suministrado al vapor será menor debido a las pérdidas de calor por las superficies de la caldera en contacto con el aire de la sala de calderas o por su estructura, debemos agregar las pérdidas producidas por las fugas de agua caliente y vapor (considerando las purgas necesarias). Esta eficiencia, sino consideramos las pérdidas de vapor y agua (con purgas), son fijas para una misma presión, por lo que a

mayor régimen de vaporización menor serán en % respecto al calor transferido a la caldera. Por eso es importante que la caldera sea calculada para un régimen de marcha normal del 70% al 80% de su capacidad y que la calidad de agua permita el mínimo de purgas (una máxima recuperación de condensado) y mínimas pérdidas de vapor con un buen mantenimiento.



De la consideración de la **eficiencia de la combustión** y de la **eficiencia de la caldera** como equipo térmico, podemos establecer una **eficiencia total**.

La eficiencia total de una caldera está expresando en %**, el porcentaje del calor total suministrado por el combustible** (referido al P.C.S. o al P.C.I.) **que es tomado en la caldera y es transportado por el vapor**.

Para medir estas eficiencias (combustión, caldera como equipo térmico, o la eficiencia total) debemos de conocer o tomar una serie de valores que relacionaremos en expresiones matemáticas para cada caso. Estas mediciones se harán con instrumentos (medidores de gases, termómetros, manómetros, caudalímetros, etc.) y se tomarán valores de tablas (tablas de vapor, diagramas de Ostwald para gases, etc.).

Veamos una forma práctica de hacer estos cálculos, con un valor aproximado suficiente para el trabajo normal de evaluación en baja y media presión.

La Eficiencia en calderas se establece por dos métodos : **Directo e Indirecto**.

Eficiencia Directa (aproximado): Mida la cantidad de vapor en Kg./h (ó la cantidad de agua de alimentación menos las purgas y pérdidas en Kg./h), su presión y su temperatura, la temperatura del agua de alimentación. Al mismo tiempo mida la cantidad de combustible consumido para producir dicho vapor. De las tablas de vapor saturado tome el calor total del vapor (si es sobrecalentado, tome una tabla de vapor sobrecalentado) y el calor del agua a la temperatura de alimentación. Usando la siguiente fórmula Ud. obtendrá la Eficiencia Total aproximada en forma directa:

Eficiencia Total % = Kgs.vapor/h **x** (Kcal/Kg. vapor - Kcal/Kg. agua) x 100

Kgs. combustible/h **x** Poder calorífico Kcal./Kg.

El poder calorífico que se debe de tomar es aquel al cual queremos referir la Eficiencia Total, o sea **P.C.S.** ó **P.C.I**.. (se ha despreciado la "cualidad" ó "título" del vapor saturado, es decir: el agua "arrastrada sin evaporar por el vapor").

Eficiencia Indirecta (aproximada): En este caso se miden las pérdidas en chimenea y calculando su %, podemos establecer que:

100 - % pérdidas en los gases de chimenea = % Eficiencia de la combustión. (y transferencia).

Las pérdidas de la caldera en sí (purgas, pérdidas de calor por su cuerpo a la sala, pérdidas de agua y vapor) no las tenemos en cuenta (ya que las mismas se relacionan con el Eficiencia Total y no con la Eficiencia de la combustión y Transferencia).

Para el cálculo de esta pérdidas por chimenea debemos conocer :

Ai = Aire teórico mínimo que necesita el combustible (Kg./ Kg.), Ag = agua formada por el combustible + agua de la humedad del combustible (Kg).

A% = Exceso de aire (medido por medio del CO2 ó O2), igual al (Coeficiente de exceso aire) x 100 - 100 = A% (ver gráficos en este capítulo).

Cp = Calor específico de los gases de combustión (aproximado 0,25 Kcal /Kg.).

T2= temperatura de los gases de chimenea en ºC .

T1 = temperatura del aire utilizado en la combustión ºC (temp. aire en la sala).

Poder calorífico (P.C.S. y P.C.I.). del combustible (Kcal/Kg).

$$\text{Eficiencia comb. P.C.S.} = 100 - \frac{[(1+Ai \times (1+A\%/100) \times Cp \times (T2-T1) + Ag \times 600] \times 100}{\text{P.C.S.}}$$

$$\text{Eficiencia comb.P.C.I.} = 100 - \frac{[(1+Ai \times (1+A\%/100)) \times Cp \times (T2-T1)] \times 100}{\text{P.C.I.}}$$

Observase que en la Eficiencia de la combustión referida al P.C.S. hemos tenido en cuenta el calor que absorbe el agua que trae el combustible al evaporarse (Ag x 600), no hemos tenido en cuenta el sobrecalentamiento de la misma, de la humedad del aire, de los gases no quemados (ya que estamos haciendo un cálculo práctico aproximado).

Veamos la cantidad mínima necesaria de **aire teórico Ai** para los combustibles usuales:

Fuel Oíl pesado.....13,22 Kg. aire por Kg. de F.Oíl
Súper gas.....15,7 Kg. de aire por Kg. de super gas.
Gas natural .....16,3 Kg. de aire por Kg. de gas natural.
La leña varía con la humedad (ya que a más humedad menos combustible)
Leña con 25% de humedad.....4,800 Kg. de aire por Kg. de leña.
Leña con 30% de humedad.....4,480 Kg. de aire por Kg. de leña.
Leña con 35% de humedad.....4,160 Kg. de aire por Kg. de leña.
Leña con 0% de humedad.....6,400 Kg. de aire por Kg. de leña.

Para el cálculo de Ag x 600 podemos sustituirlo por = P.C.S.- P.C.I. ya que la diferencia de los mismos es la cantidad de calor en evaporar el agua total (suponiendo que el combustible no trae agua extra después del análisis de la Bomba de Calor).

Poderes caloríficos de los combustibles usuales:

P.C.S. (Poder calorífico superior) **P.C.I.** (Poder calorífico inferior)

La diferencia consiste que en el P.C.I. se descuenta el calor necesario para vaporizar el agua que se forma en la combustión del hidrógeno y el agua que trae como

humedad el propio combustible (P.C.I.= P.C.S. - 600 x Agua Total), mientras que en el P.C.S. el agua se supone condensada (a 0ºC) midiendo todo el calor disponible.

Fuel Oíl Pesado (Nº6).....	P.C.S. =10.300 Kcal./Kg.	P.C.I. = 9.700 Kcal./Kg.
Súper gas (garrafas).....	P.C.S. =12.800 Kcal./Kg.	P.C.I. =11.800 Kcal./Kg.
Gas natural.....	P.C.S. = 12.290 Kcal/Kg.	P.C.I. = 11.100 Kcal/Kg.

El volumen tomado por el **gas natural**, generalmente es referido al m3. a una temperatura de 15,5ºC y 1 atmósfera de presión. Su gravedad específica respecto al aire (aprox. 0,62) o su peso por m3.-densidad- a una temperatura de 15,5ºC y 1 atmósfera de presión, aprox. 0,76 Kg/m3. Lo que podemos establecer un P.C.S. de 9.400 Kcal/m3 y un P.C.I. de 8.490 Kcal/m3 en las condiciones de presión y temperatura antes dicha. Estos valores varían de acuerdo a la zona de extracción del gas y al tratamiento del mismo.

La leña como tiene distintas humedades, el poder calorífico dependerá del % de humedad de la misma no solo por el agua que forma y trae, sino por el % de materia que es ocupada por el agua (si la humedad es el 40% , la materia seca será el 60% - con su agua de formación - ésta agua y el 40% será el agua a evaporar).

Leña de eucaliptos:

Humedad 0% (totalmente seca) P.C.S. = 4.685 Kcal/Kg. P.C.I.= 4.300 Kcal/Kg.

La humedad mínima de la leña que se logra en la práctica es de 20% después de 1 año, pero lo normal es del 25% (más de 6 meses de estacionamiento).

Humedad 25%.....P.C.S. = 3.510 Kcal./Kg. P.C.I.= 3.080 Kcal./Kg.
Humedad 30%.....P.C.S. = 3.280 Kcal./Kg. P.C.I. =2.830 Kcal./Kg.
Humedad 35%.....P.C.S. =3.045 Kcal./Kg. P.C.I.= 2.590 Kcal./Kg.
Humedad 41%.....P.C.S. =2.760 Kcal./Kg. P.C.I. =2.290 Kcal./Kg.

Cuando la leña se corta en los montes de eucaliptos la humedad supera el 60%

La humedad la estamos dando en base húmeda (% H b.h.) es decir, tomada una cantidad de leña, pesada (Ph) , secada en una estufa a baja temperatura (unos 105ºC) hasta peso constante y pesada nuevamente la cantidad anterior (Ps), el % de humedad es de acuerdo a este cálculo:

% H b.h. =[(Ph - Ps) ÷ Ph] x 100

Tener cuidado con la humedad dada en base seca (% H b.s.) (que usan los madereros) que es igual :

% H b.s. =[(Ph - Ps) ÷ Ps] x 100

En caso que nos dan la humedad en base seca (% H b.s.) podemos hacer la conversión de base seca a base húmeda:

% H b.h. = [% H b.s. ÷ (% H b.s.+100)] x 100

Ejemplo: una leña con una humedad en base seca de % H b.s.= 25%, aplicando lo anterior % H b.h. = 25 / (25 +100) x 100 = 20% H b.h.. Las dos humedades significan lo mismo, pero se expresan en cantidades diferentes, por eso hay que hacer la aclaración a cual base están referidas.

Nota: Ver al final del libro tablas para el cálculo simplificado de la Eficiencia de Combustión y Transferencia (combustión completa, sin gases sin quemar).

Si consideramos la **Eficiencia Total** (que es igual al calor entregado al vapor en referencia al calor entregado por el combustible) debemos de considerar la **Eficiencia de la caldera como equipo térmico** (considerando las pérdidas por la aislación, vapor y agua, purgas), ya que la caldera recibe el calor que hemos calculado en la **Eficiencia de la combustión y transferencia** (calor del combustible - calor perdido en chimenea) y entrega al vapor un calor de menor cuantía por dichas pérdidas (aislación, purgas, pérdidas de agua y vapor). Podemos establecer que la :

Eficiencia Total = Eficiencia a la Combustión x Eficiencia de Caldera (como Equipo térmico).

Con todas las eficiencias referidas al mismo poder calorífico, establecido esto, podemos decir que:

Eficiencia Total directa = Eficiencia Total indirecta.

Por lo que podemos establecer que la Eficiencia de la caldera como equipo térmico es:

Eficiencia Caldera (equipo) = Eficiencia Total dir. ÷ Eficiencia Combustión Indirecta

La Eficiencia de la caldera como equipo térmico, si no consideramos las purgas y pérdidas de vapor y agua, actualmente con los diseños de las calderas más compactas y mejor aisladas, son del entorno del 97% al 99% de la producción máxima de la caldera (esto quiere decir que cuanto más baja la producción de vapor de la caldera, esta pérdida adquiere mayor importancia, de allí que las calderas se deben elegir para trabajar al 70% de su capacidad, dejando un 30% para tomar las cargas momentáneas. Las calderas antiguas, con mucha estructura, refractarios y poca aislación o mala, tenían pérdidas del orden del 15% al 10%, de allí que fueran candidatas a su sustitución por las calderas modernas (ya que esta pérdidas muchas veces era el valor de una caldera nueva que se pagaba en un año).

Cálculo Ahorro de combustible : (**mejorando la combustión**)

El ahorro de combustible, suponiendo que es la misma caldera, su Eficiencia como equipo térmico permanecerá igual, el ahorro se puede medir y calcular midiendo la Eficiencia a la combustión y trans. (midiendo el exceso de aire y con un termómetro):

$$\text{Ahorro \%} = \left[\frac{\text{Eficiencia Comb. \%:mejorada - Eficiencia comb.\%:anterior}}{\text{Eficiencia Comb.\%:mejorada}}\right] x100$$

Cálculo de Ahorro de combustible: (**disminuyendo las purgas, fugas y mejorando la aislación**):

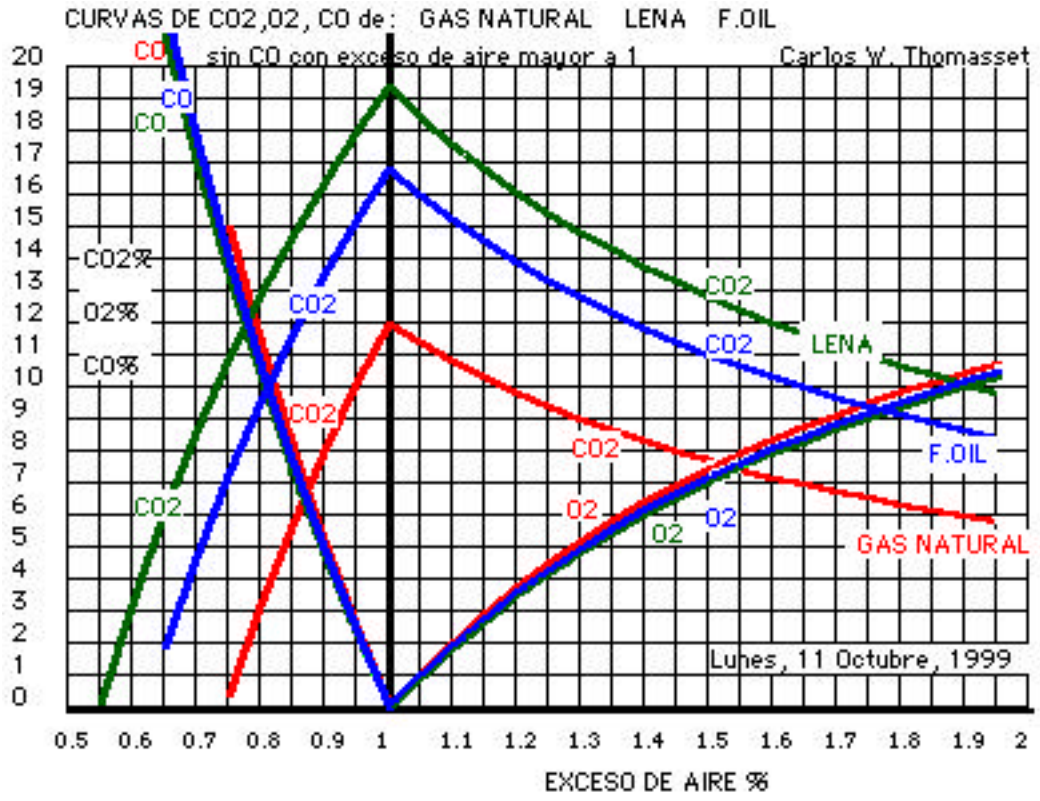
$$\text{Ahorro \%} = \left[\frac{\text{EficienciaTotal: \% mejorada - EficienciaTotal:\% anterior}}{\text{Eficiencia Total:\% mejorada}}\right] x100$$

No hemos tenido en cuenta el combustible sin quemar en cenizas, hollín , etc..

Medición del exceso de aire en gases de chimenea:

Para medir el exceso de aire en los gases de chimenea debemos utilizar instrumentos y gráficos. No todo el exceso de aire se debe al que ha entrado por el quemador, pudiendo haber filtraciones por la envuelta de la caldera o tapas de observación. Este aire debe ser eliminado todo lo posible, poniendo juntas (o calafateando rajaduras o aberturas que no ajustan).

Gráfico de la relación del exceso de aire, el CO2, CO y el O2 para leña, F.Oíl pesado y gas natural



Este gráfico permite tener una idea del **Exceso de aire** (coeficiente) al medir los gases de chimenea, tiene el inconveniente que supone que **no hay presencia de CO** (monóxido de carbono, es decir carbono que se ha "quemado" con un solo oxígeno y ha entregado un 30% de su calor solamente) **cuando hay exceso de aire**. El exceso de aire empieza al valor mayor que 1, siendo el % de exceso igual al Nº menos 1 por 100 (ejemplo: midiendo leña tenemos un CO2 de 10%, en el Eje vertical leemos 10% de CO2 y seguimos la horizontal hasta que corte la curva de CO2 correspondiente a la leña, desde ese punto bajamos por la vertical hasta el eje horizontal donde leeremos Coeficiente de Exceso de aire 1,9 , el % de Exceso de aire será : 1,9-1= 0,9 por 100 = 90% de Exceso de aire. Es decir, que tenemos un 90% de aire que sobraría, pero en leña normalmente podemos necesitar un Exceso de aire del 40-50%, es decir que el aire realmente sobrante será 90%-40% (ó 50%) = 40%(ó 50%). Debemos de tratar de ajustar la cantidad de aire necesaria para evitar este exceso elevado.

Vemos que midiendo el **O2** (oxígeno), el **Exceso de aire es prácticamente igual** para los 3 combustibles anteriores para **una misma lectura de oxígeno**, por ello se prefiere medir el oxígeno si es posible, ya que permite medir el Exceso de aire sin saber exactamente la composición del combustible.

Como en Leña y gases es común que aparezca el CO **por mala combustión**, es preferible la utilización del triángulo de OSTWALD, para lo cual debemos de medir el CO2% ó el O2% , **pero siempre medir el CO** (que aunque haya exceso de aire, puede producirse por mala combustión).

Veamos que mejora que se puede lograr en la EFICIENCIA al elegir el tipo de combustible:

AHORROS AL ELEGIR EL TIPO DE COMBUSTIBLE en relación al quemador elegido.

En este caso es muy importante tener en cuenta todos los parámetros y no solamente el costo del combustible por unidad de volumen o peso, ya que habrá muchos factores que harán que el mismo sea el económicamente adecuado.

Una de la cosas importantes en primera fase son las calorías disponibles en referencia al costo, pero cuidado, no todas las calorías disponibles serán siempre aprovechadas.

Generalmente el calor disponible se refiere al PODER CALORÍFICO INFERIOR (P.C.I.) **o SUPERIOR** (P.C.S.).

Hay una pérdida por chimenea de acuerdo al tipo de combustible en cada caldera, en cada tipo de quemador y su forma de operar, esta se refiere a la **Eficiencia de Combustión y Transferencia.**

Pero este valor no solo será relativo al diseño de la caldera y el combustible, sino al tipo de quemador (exceso de aire, hollín, etc) y forma de operar (modulación continua, a pasos, prende y apaga o sea ON-OFF).

Según sea el combustible habrá un tipo de quemador o forma de combustión más adecuado.

En el F.Oíl tenemos que considerar que la **combustión modulada continua como la más económicamente EFICIENTE, manteniendo una buena atomización y fundamentalmente una relación aire/combustible** (exceso de aire) **los más baja posible sin presencia de CO o gases sin quemar**.

Es prácticamente demostrable que si el quemador se ajusta en forma continua a mantener le presión de vapor constante al variar la carga de la caldera, el consumo puede llegar en algunos casos a ser un 15% más EFICIENTE (o sea menor) que un quemador que prende y apaga (ON-OFF). Cuando un quemador prende y apaga entre dos presiones en forma ON-OFF, en el momento que apaga, hay **filtraciones de aire** que no intervienen en la combustión y que entrando a temperatura ambiente, se calientan a la temperatura de la caldera y salen por la chimenea, robándonos un calor que se pierde. Si la llama no tiene distintas potencias de llama (quemador de más de una llama), la pérdida es mayor, dado que el quemador "arranca" con toda su "potencia", provocando una llama de mala combustión en los primeros segundos (se pierde calor por gases sin quemar y se produce más hollín), **es en este caso de quemador la pérdida puede ser mayor** (dependiendo de las veces que la caldera prenda y apague en el

tiempo). **A medida que aumentan las "llamas"** (tiene más de una tobera de atomización y cada tobera tiene un presóstato de comando o un termostato en agua caliente), **el quemador pierde menos por las razones anteriores, ya que se apaga menos veces en el tiempo** (o no llega a apagarse y se asimila a un quemador de modulación continua).

En los combustible líquidos, los quemadores de modulación continua de una sola llama modulante, es un problema que se ha resuelto en parte, ya que las condiciones del caudal de combustible al variar y el aire deben mantener su relación, pero con una buena atomización del combustible. Este problema de buena atomización está resuelto en algunos de los sistemas de atomización hasta determinadas relaciones de potencia de los quemadores. Los de atomización a vapor lo resuelven dentro de una relación de potencia limitada, los de atomización mecánica con sistema de retorno interno y los de copa rotativa también pueden mantener una buena relación de potencia, **no así los de atomización mecánica del tipo común, ya que el caudal varía en relación a la raíz cuadrada** ($\sqrt{P1}/\sqrt{P2}$) **de la presión del combustible, pero el problema es que a bajas presiones la atomización es mala debido a la falta de velocidad tangencial en la cámara de torsión**.

Pero debemos de considerar el funcionamiento del quemador en el tiempo y en el rango de carga, es decir, que la combustión se mantenga por el tiempo y en todo el rango de carga de la caldera en adecuadas condiciones de **exceso de aire al mínimo y calidad de combustión** (especialmente **el hollín, elemento sumamente aislante** que produce las más importantes pérdidas, ya que un quemador formando hollín aisla las superficies de transferencia de la caldera en pocas horas de marcha, siendo esta pérdida mucho más importante que el valor energético del hollín mismo- como combustible sin quemar-, siendo además un elemento muy contaminante de la zona). Hay **dos tipos de hollín**, el **micro-hollín**, generalmente producto de una mala combustión (generalmente por una falta de mezcla del combustible atomizado y el aire de combustión) y **el hollín en forma de partículas mayores**, muy poco observables en la salida de la chimenea, pero que producen pequeños "copos" de hollín en la zona de la caldera (que queda depositado sobre los techos o pisos), generalmente se produce por el enfriamiento de la combustión de los combustibles líquidos de difícil combustión, al tocar las superficies frías de la caldera (depende de la calidad del combustible, especialmente en F.Oíl, debido a su composición, producto del origen de extracción y método de obtención en la refinería, generalmente son altos en asfaltenos). **Este hollín difícilmente se puede evaluar con la "bomba de hollín BACHARACH", ya que son partículas grandes y es muy difícil que en un volumen de 1,8 ltrs. que toma la bomba**

pueda ir un "copo".

Además **el tipo de atomización debe ser estudiado**, ya que si bien la **atomización a vapor es por lo general la que dá mejores y completas combustiones** (con F. Oíl pesado de difícil combustión), tendremos un consumo de vapor que también pesa en la Eficiencia, pero la atomización a vapor por lo general dá **menos períodos de parada para limpiezas,** tanto del quemador como del hollín en la caldera (lo cual mejora las condiciones de eficiencia).El **exceso de aire**, elemento importante a tener en cuenta, ya que la eficiencia varía en gran forma, produciendo **grandes pérdidas con los excesos de aire** no controlados, en la atomización a vapor puede ir desde un 30% de exceso en algún sistema antiguo hasta un 5% en los sistemas actuales.

Hay varios tipos de "punteros" o "lanzas" en la atomización a vapor, un sistema de bajo consumo de vapor, en el cual el vapor por lo general está por debajo de la presión del F. Oíl (el **LVS** en inglés), **el vapor a presión casi constante** (el F. Oíl pesado entra a una temperatura próximos a los 110ºC), se atomiza en una cámara de la lanza **como si fuera una tobera de atomización mecánica** (cuya presión varía por lo general entre 4 y 12 Kg/cm2, aunque los punteros exclusivamente mecánicos trabajan a mucha más presión dado que no tienen vapor o aire auxiliar de atomización), **luego el vapor entra en la circunferencia de la de la cámara y "barre" el F. Oíl atomizado**. Este sistema consume aprox. menos de 3% a un 6% de vapor que el consumo del F. Oíl consumido. Este tipo de lanza de atomización con asistencia de vapor, permite la utilización de **aire comprimido en vez de vapor**, lo que permite el arranque en frío de la caldera con aire y luego se le pasa a vapor.

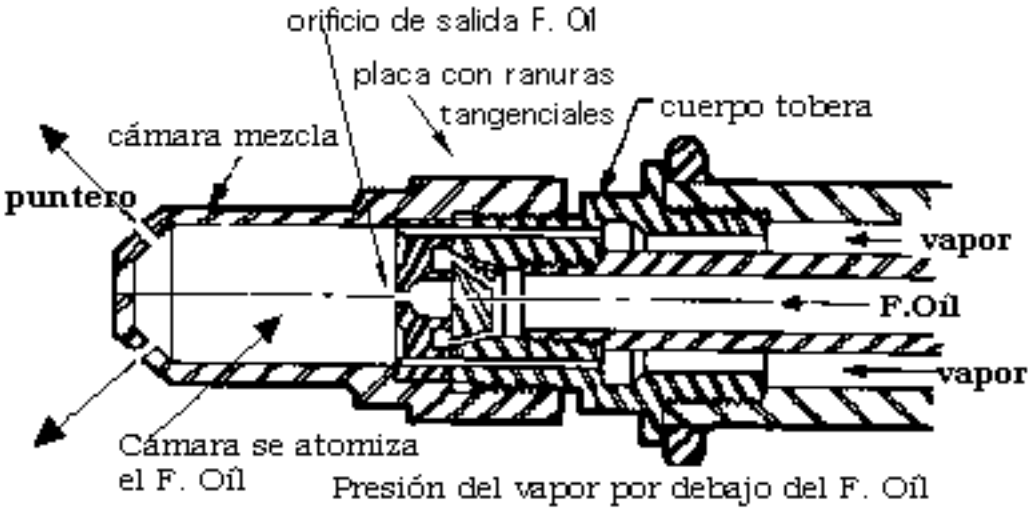
El otro sistema, utiliza el vapor como elemento de atomización directa (**Y-Jet** en inglés)**,** es decir, **el vapor siempre se encontrará por encima de la presión del F. Oíl**, por medio de una válvula reguladora accionada por la presión variable del F.Oíl. Este vapor, por lógica, será de mayor consumo que la anterior, próximo o mayor al 5% (hasta un 10%) del caudal del F. Oíl consumido. **La gran ventaja de este sistema que es menos sensible a la temperatura del F. Oíl pesado, ya que se puede trabajar a temperaturas tan bajas como 85ºC, logrando una muy buena atomización.** En calderas humo-tubulares de gran porte, con combustibles pesados, por lo general dan mejor atomización, dando menos hollín en chimenea. Este tipo de lanza es más problemática para el arranque en frío, dado que **con aire no atomizan correctamente**, por lo que hay buscar una lanza de arranque en frío (o una que funcione con aire comprimido o una de atomización mecánica con el mismo combustible o un combustible más liviano como el Gas-Oíl que no se necesita calentar y

se puede atomizar con poca presión en una lanza auxiliar, utilizando una bomba auxiliar).

Los quemadores con aire comprimido, son similares a los de vapor, pero debemos de considerar el consumo de aire y la energía o costo de producir ese aire comprimido.

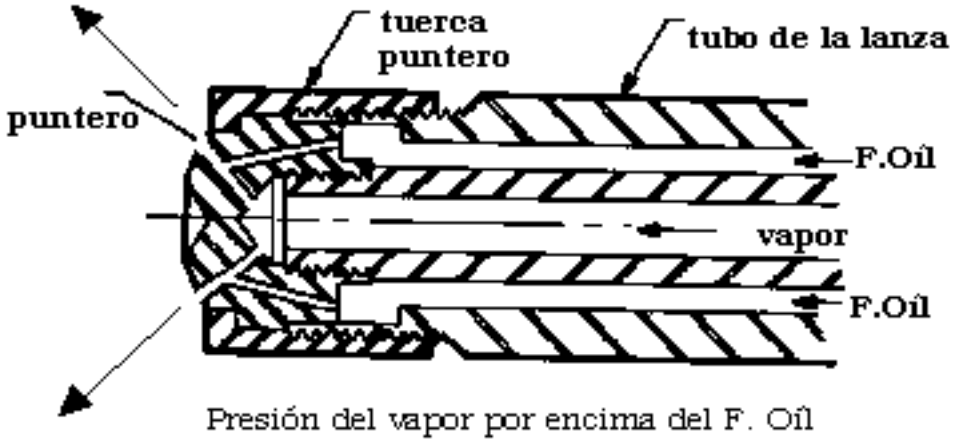
Veamos algunos croquis de estas lanzas:

El puntero o lanza LVS de atomización a vapor (eventualmente aire), **la función del vapor es "arrastrar" el F. Oíl atomizado en una cámara** (en la cual se produce una simple atomización mecánica) **de manera que no es necesario que el vapor esté por encima de la presión del F. Oíl** (por lo general la presión del vapor está entre 2 y 3 Kg/cm2).



tobera de vapor LVS

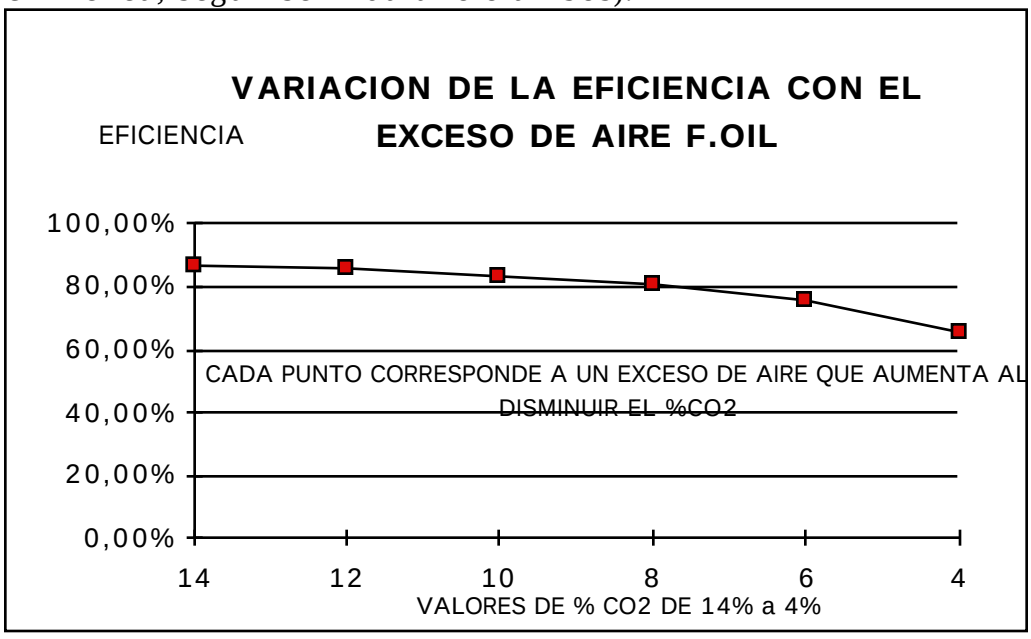
El puntero o lanza de atomización a vapor tipo Y-Jet, el vapor a mayor presión que el F. Oíl, "arrastra" al F. Oíl y lo atomiza directamente en la cámara de combustión. (el vapor por lo general está entre 1,5 a 2 Kg/cm2 por encima de la presión del F. Oíl, variando la presión del F.Oíl entre unos 3 a 12 Kg/cm2). Este sistema no funciona adecuadamente con aire comprimido.



Presión del vapor por encima del F. Oíl

tobera de vapor tipo Y-Jet

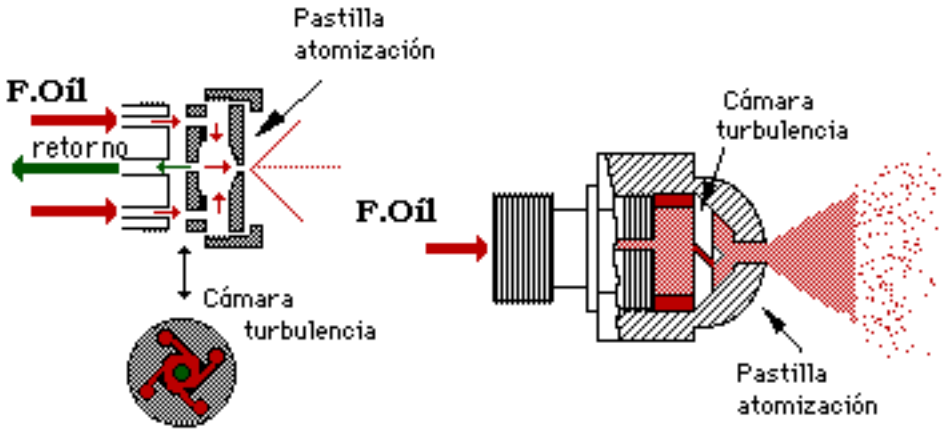
Como se ve en la **figura inferior**, el exceso de aire produce importantes pérdidas (ya que calentamos aire sin ser utilizado en la combustión, generalmente este exceso es necesario por la **mala atomización del combustible y su mala mezcla con el aire de combustión, lo que está indicando lo importante que son ambas cosas : atomización y mezcla** (si ambas son buenas el exceso de aire en F. Oíl pesado y calefacción no debería estar nunca sobre el 30% del aire mínimo necesario, que en F. Oíl es aprox. 13 a 14 Kg/Kg. de F. Oíl más el exceso necesario, no más de un 30% y actualmente menos del 10%, que por lo general está indicado por el CO2 % o el O2% en chimenea, según se mida uno o ambos).



La **atomización mecánica** (a presión) **es la más común**, tenemos que calentar el combustible a altas temperaturas para **bajar la viscosidad a valores adecuados** según el tipo de quemador (por lo general el F.Oíl pesado próximos a los **130ºC** o más, el F. Oíl calefacción unos **110ºC** o más, no siendo conveniente exagerar dichas temperaturas para compensar otras fallas del quemador, ya que un exceso temperatura puede provocar "cascarillas" en el calentador, ensuciando su superficie de transferencia o las mismas "cascarillas" gastando por abrasión las toberas o las cámaras de giro o torsión o lo que es peor, trancando algún sistema de seguridad como la válvula de alivio del calentador si la tuviese. La energía utilizada para la calefacción del F. Oíl por lo general se recupera en la suma con la energía de la combustión, pero al ser su calefacción con una energía más cara cuando es eléctrica, produce pérdidas económicas). **El problema de estos quemadores es el servicio más delicado que hay que darle para que su funcionamiento sea el correcto**.

Un llamado de atención : cuando se construyen placas con las cámaras de torsión o giro (cámara de turbulencia), que deben ajustar con la placa de la pastilla o tobera (por lo general, en quemadores clásicos), hay que tener cuidado con el metal que se utilice para su fabricación, ya que si bien se prueban con "azul de Prusia" para ver el ajuste de ambas caras es "parejo", luego de esmerilar, **puede ser que si bien en frío el ajuste sea correcto, cuando el puntero o lanza esté en la caldera, si el material no es el adecuado, se puede deformar con la temperatura y el quemador atomiza mal.**

Por lo general **el metal utilizado debe ser refractario** o sea que soporte la temperatura sin deformación (como uno que tenga no menos de 18% de cromo, 8% de níquel, 0,25% de selenio o pueden ser otras aleaciones, que soporten la temperatura y la corrosión). Nos estamos refiriendo a la pastilla y la cámara de turbulencia de la figura inferior-izquierda.

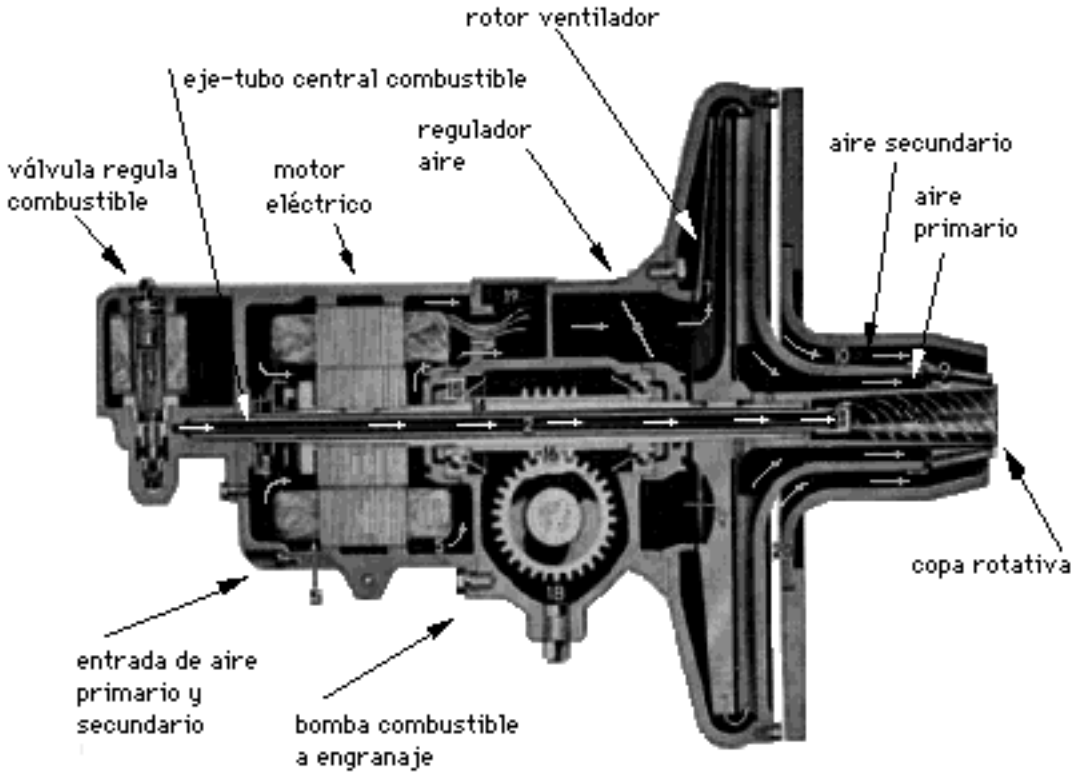


Pastilla y cámara de turbulencia Tobera de quemador más común.

La **atomización por copa rotativa** es por lo general simple y no requiere gran tecnología si el hollín no es lo importante (que casi siempre lo es), pero, un quemador de buena combustión en copa rotativa requiere un muy buen diseño y lleva un mantenimiento más refinado, ya que el atomizador está sometido a altas revoluciones (problemas de vibraciones, balanceo, cojinetes, etc). Los hogares por lo general deberán tener una buena temperatura (refractarios).

El F.Oíl pesado debe trabajar a una temperatura menor que la de los quemadores a atomización mecánica, debido a que si la viscosidad es muy baja (alta temperatura), la copa girando no puede "agarrar" al combustible sobre la superficie interna, para hacerlo girar a altas revoluciones y salga finamente atomizado, para que el aire primario **lo empuje y lo disperse**, en este caso el F.Oíl entra como "resbalando". La temperatura puede estar, entre **90ºC y 100ºC en F. Oíl pesado**, siendo suficiente **entre 60ºC y 70ºC para F. Oíl calefacción.**

En la actualidad han surgido marcas conocidas, que han logrado que este tipo de quemador trabajen con bajo exceso de aire y hollín. Por lo general son algo más caros que los quemadores de atomización a vapor o mecánica.

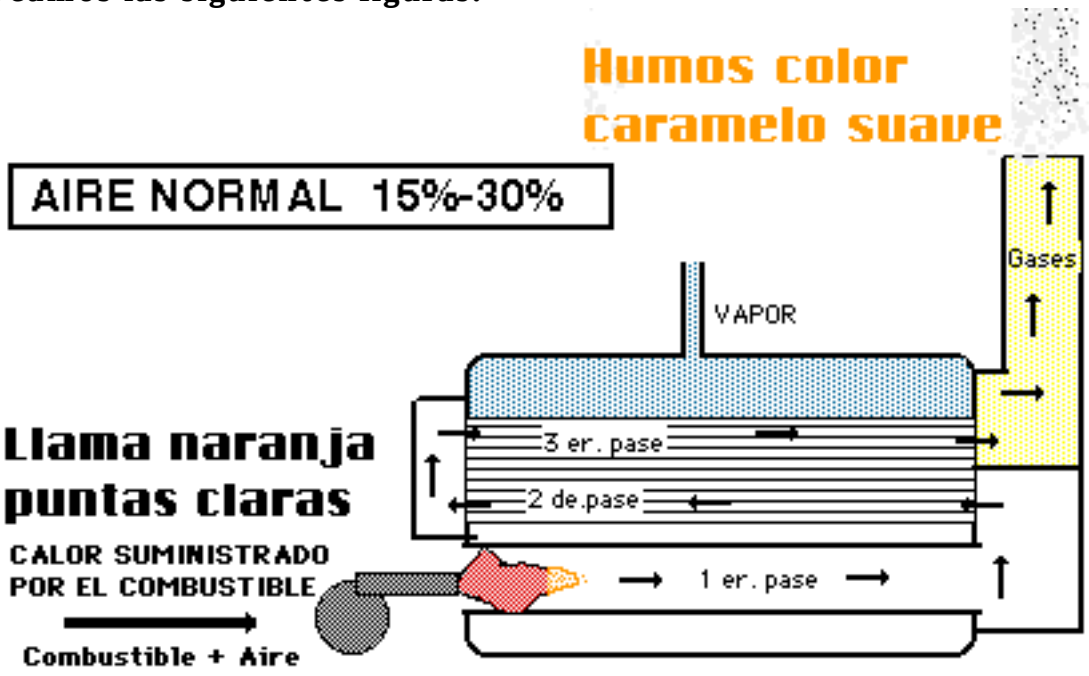


QUEMADOR COPA ROTATIVA PARA COMBUSTIBLES LIQUIDOS

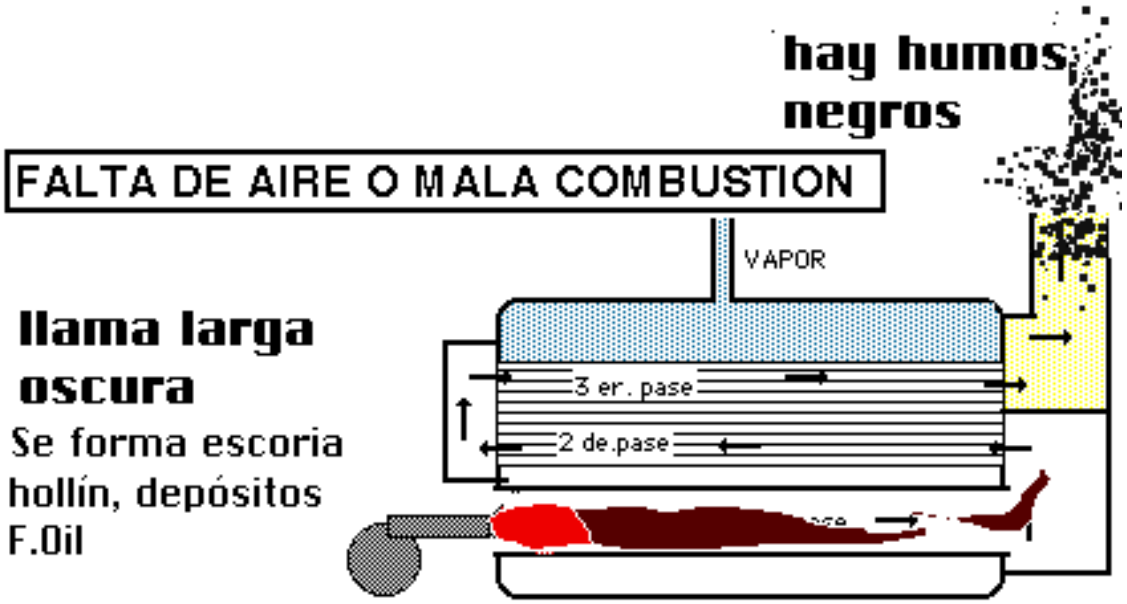
En F. Oíl, el control necesario para la combustión se puede hacer en forma visual, cosa que es relativamente insegura, siendo mejor el control si nos apoyamos con instrumentos.

CONTROL DE COMBUSTIÓN EN F. OÍL

En forma visual, para control la combustión del F. Oíl, tendremos el color y forma de la llama, en los humos el color, veamos las siguientes figuras:



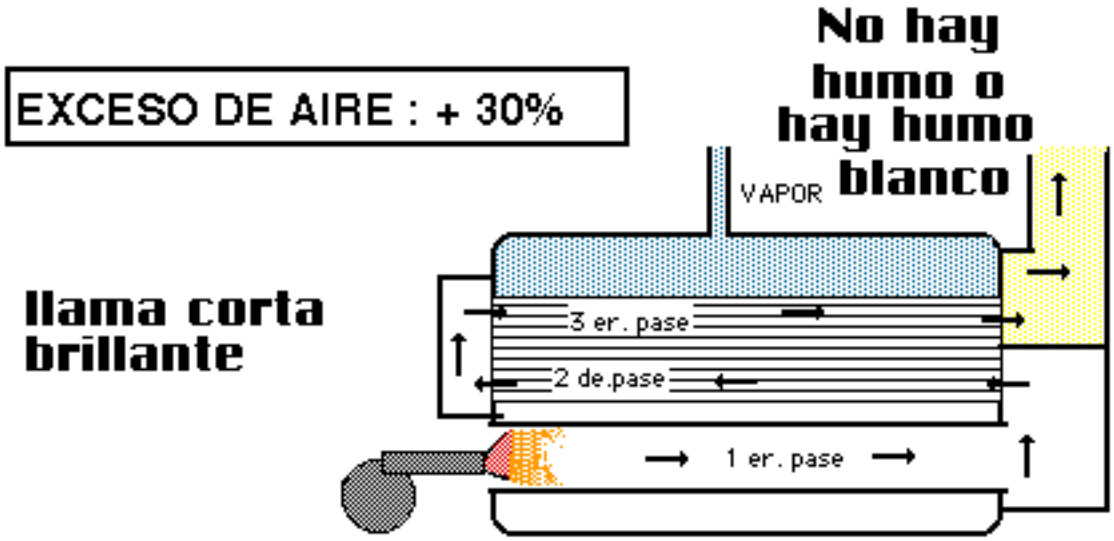
Cuando el exceso de aire es normal, entre 15% y 30%, la llama será relativamente corta, la llama de un color naranja con las puntas claras, el humo casi no se apreciará, salvo un color caramelo suave en algún quemador más antiguo (no notándose más que un velo en quemadores modernos bien ajustados para que no formen hollín). **Aquí la pérdida por exceso de aire será mínima, pero habrá en algunos casos que controlar la formación de CO** (monóxido de carbono), **especialmente en caldera con muchos refractarios.**



Cuando falta el aire, es decir que el aire es menor a la cantidad mínima necesaria (en F.Oíl menos de 14,... Kg. por Kg. de F. Oíl), **se produce un alargamiento de la llama, con su oscurecimiento y la formación de humos negros en la chimenea.**

¡ Pero atención ! También se pueden formar humos negros y alargamiento de llama (con oscurecimiento) **aunque sobre el aire, debido a una mala mezcla del combustible con el aire** (mala atomización, mal direccionamiento del aire, etc.)**, o al enfriamiento de la combustión, por ello es conveniente la medida del exceso de aire por medio del CO2 o el O2.**

En este caso el problema más importante no es solamente el hollín que es muy contaminante (no solamente por un problema "estético"), sino que la caldera está formando destilados sin quemar (o CO, se contamina el aire y se pierde energía en forma muy importante), **pero el hollín formado aisla las superficies de transferencia, horas tras horas, lo que disminuye la transferencia, aumentando la temperatura de chimenea y con ello las pérdidas.**

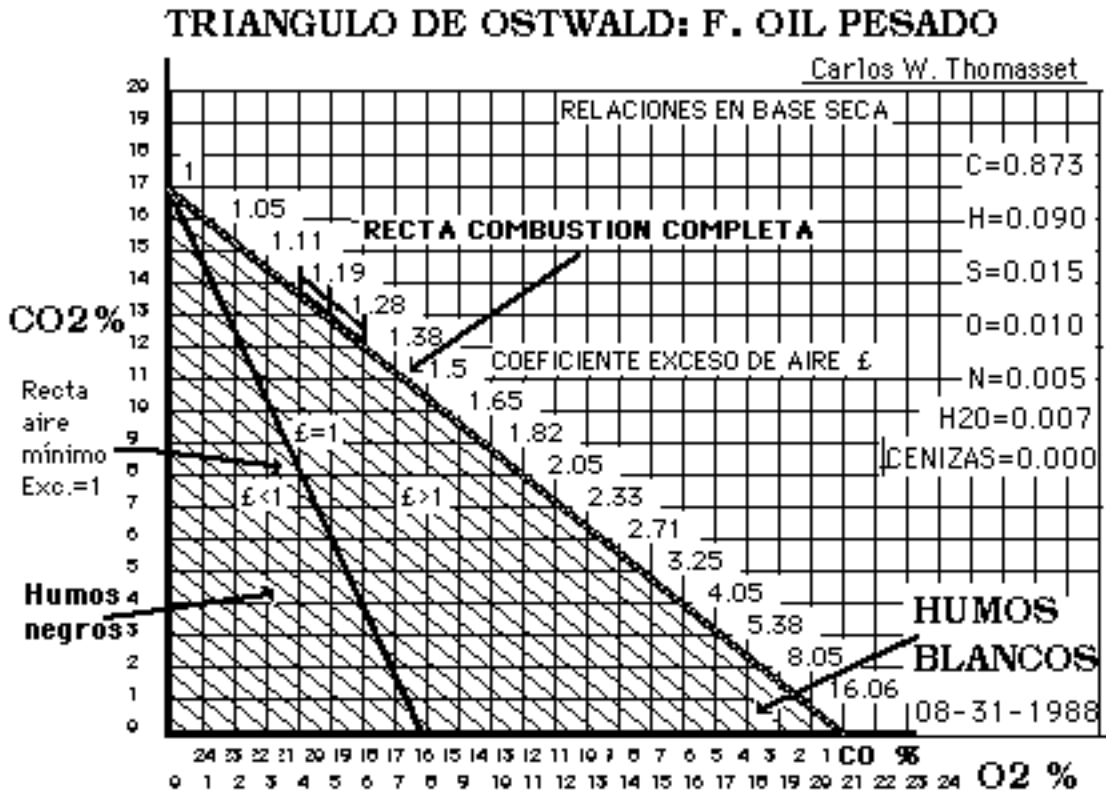


El exceso de aire es la forma más engañosa si solo miramos el humo de la chimenea (que por lo general es inexistente y dá la sensación que la caldera "está quemando bien" y sin embargo tenemos grandes pérdidas por exceso de aire). **En este caso debemos de mirar la llama, que será corta y brillante, cuanto más aire en exceso tenga** (hasta cierto límite, llegando luego a ser tan fría la combustión, que la llama se alarga y oscurece, produciendo en algunos casos humo negros y en otros humos blancos, estos humos blancos son gotitas sin quemar de combustible en forma de niebla)**.**

De todas maneras, el monitoreo visual de la combustión con F.Oíl (u otros combustibles líquidos semipesados) **son relativamente fáciles de hacer con cierta certeza, no así en gases y leña.**

Para trabajar con la medición del exceso de aire, la falta o cualquier condición de combustión, sugiero la utilización del triángulo del OSTWALD, que con ventaja permite ver claramente la relación de los gases de combustión (sin el H2O, ya que se supone que el agua al hacer la medición se ha condensado al enfriar la muestra de gases calientes, por esta razón se debe de trabajar sobre esta gráfica teórica con medidas de "gases secos" , cuidando la lectura del O2 , especialmente en los medidores con celdas de zirconio).

En la realidad esta gráfica puede tener que ser corregida, ya que se supone que por cada parte de CO (monóxido de carbono), pueden haber igual contenido de H2 (hidrógeno), corrección que aquí no hemos hecho, por considerar que no se debe tener CO (o casi nada) con el quemador ajustado correctamente.



EL TRIANGULO DE OSTWALD

Este gráfico, es un sistema visual de ver el resultado de la combustión, está trazado en % de volumen de los gases secos y se usa de la siguiente manera:

Es un triángulo formado por el cateto vertical (ordenadas) por el **CO2% de cada combustible en particular** (cada triángulo solo es válido para cada combustible, ya que su trazado responde a la composición química del combustible y de la atmósfera terrestre al nivel del mar, y con los **gases secos**), **en la cual el CO2% corresponde a la suma de CO2% + SO2%** (dado que ambos elementos necesitan en volumen o molarmente la misma cantidad de oxígeno y como los instrumentos de absorción absorberán a los dos, además la incidencia del SO2%, anhídrido sulfuroso es por lo general bajo), **o sea que el valor máximo será el máximo CO2% del combustible** (la suma CO2%+SO2%, cuando el aire necesario corresponde al mínimo o estequiométrico, con combustión completa). **Este CO2% máximo será mayor a medida que la relación hidrógeno/carbono disminuye** (H/C) o sea que el combustible tenga más carbono en relación al hidrógeno.

En el cateto horizontal (abscisas), **se traza el % de O2** (oxígeno atmosférico, aprox. 21% en volumen) **hasta 21 %.**

La hipotenusa será el punto de intercepción de la combustión completa, en donde se unen los valores correspondientes a cada determinado valor de CO2% y O2%, indicándose a partir de 0% de exceso (aire mínimo o estequiométrico, que no sobra el O2, es 0% y el CO2% es el máximo), pasando por todos los valores hasta el infinito exceso de aire (∞), **cuando el O2% es 21% o**

máximo, valor que solo se dá en la realidad cuando no hay combustión.

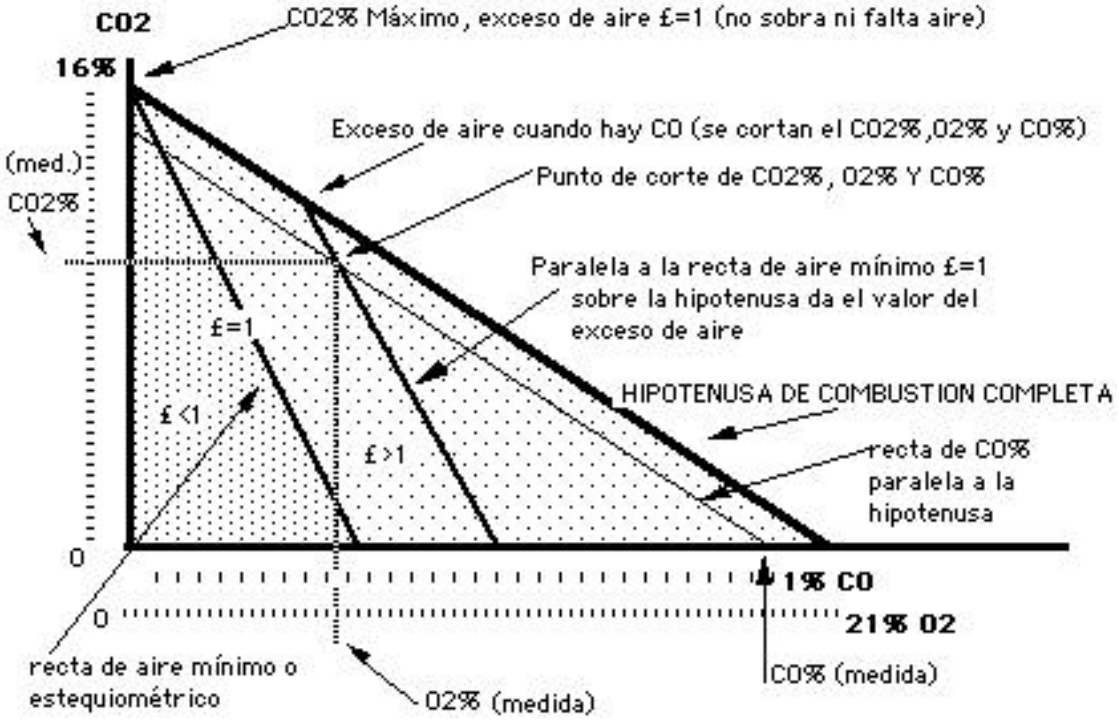
Paralelo a la hipotenusa, se trazan los valores de cada % de CO (monóxido de carbono), siendo el **máximo CO se produce cuando el CO2% es 0 y el O2% es 0.** Este valor máximo del CO es diferente para cada combustible, al igual lo que ocurre con el CO2%, siendo el valor mayor a medida que disminuye la relación hidrógeno/carbono (H/C), es decir, cuanto más carbono tenga el combustible (siendo máximo en los carbones y celulósicos, disminuyendo un poco en el F.Oíl, otro poco a medida que los combustibles líquidos tienen menos densidad, bajando aún más en los gases orgánicos, como en el gas natural, etc).

Cuando no se dá que las medidas de CO2% y el O2% coincidan en la hipotenusa (combustión completa), **el punto de intersección será sobre una zona en que habrá mala combustión o sea, que hay un % de CO.** Por lo general las lecturas no cierran en punto, sino en un triángulo (cuyos vértices serán CO2-O2 , CO2-CO y O2-CO), en este caso se tomará como punto el centro de gravedad del triángulo, o sea, la intersección de las mediatrices de los lados.

Para saber el exceso de aire (£) **correspondiente a dicho punto, debemos de trazar primero una recta que indican los puntos del exceso de aire £ = 1** (exceso de aire igual a 1, aire mínimo, o estequiométrico o sea, que no sobra ni falta aire). **Esta recta va en el punto de intersección del CO2% máximo y O2% = 0, siendo el otro punto el O2% correspondiente al CO2% = 0 cuando el aire es el mínimo** (estequiométrico). **Una vez trazada esta recta, se dividirá el triángulo en 3 zonas, a-la de la menor valor en abscisas , falta el aire, b-sobre la recta, aire mínimo, c-sobre los valores mayores de O2% a partir de la recta, será la zona de exceso de aire** (sobra el aire).

A partir de paralelas a esta recta, del lado derecho o donde sobra el aire, la intercepción de dichas paralelas con la hipotenusa, darán el exceso de aire correspondiente al punto interior al triángulo.

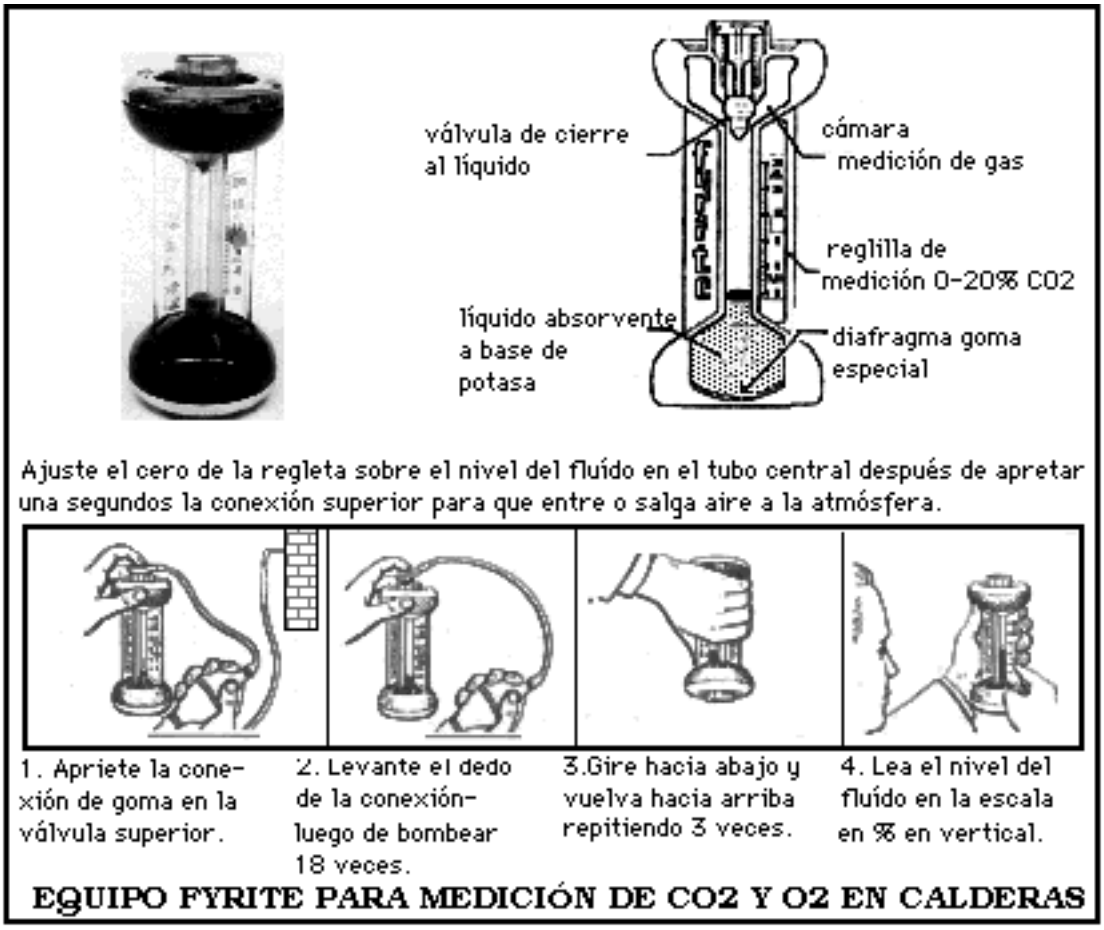
Como se ve, este triángulo, da todas las posibilidades de combustión (aunque se puede trazar un triángulo “corregido” a los valores de CO%, ya que se ha detectado que cuando hay CO, también hay gases combustibles como el hidrógeno sin quemar, aunque, consideramos que a fines prácticos, estos triángulos teóricos son suficientes, ya que el resultado buscado deberá ser la combustión completa).



El croquis anterior, indica los parámetros más importantes en el triángulo de OSTWALD. Recordar que a la derecha del la recta de aire mínimo o estequiométrico (£=1), sobrará el aire. Si al medir, hay CO no es por falta de aire, sino que solamente hay mala combustión, los valores de CO2% y O2%, caerán en la zona de £>1 (exceso de aire mayor a 1) y si medimos el CO%, este dará un valor, que crece desde la hipotenusa hacia el interior del triángulo, siendo el mayor valor de CO%, el punto de intersección en que el CO2% y el O2% son igual a cero (0%). Este valor de CO máximo, será de un valor mayor en aquellos combustibles con menor relación de H/C (menor cantidad de hidrógeno respecto al carbono).

Exceso de aire: midiendo el CO2% o el O2%

Esto se puede hacer con instrumentos sofisticados, como una **celda electro-química** para medir el O2% presente en chimenea, o un **sensor de óxido de zirconio** que trabaja directo en la chimenea (a alta temperatura) y dé el **O2% sobrante**, habiendo otros instrumentos basados en que el oxígeno (O2) es un gas de características magnéticas (no es común que ocurra en los gases) u otros como el anhídrido carbónico (CO2) tiene mayor peso específico (son más pesados) que los otros gases de chimenea, etc. . **Pero a veces lo más práctico es usar un equipo como el FYRITE** (ver figura), que funciona por absorción química del CO2 (con potasa cáustica, algo parecido al ORSAT). La ventaja del equipo es su sencillez. Ver figura.


válvula de cierre
al líquido
cámara
medición de gas
reglilla de
medición 0-20% CO2
líquido absorvente
a base de
potasa
diafragma goma
especial
Ajuste el cero de la regleta sobre el nivel del fluído en el tubo central después de apretar una segundos la conexión superior para que entre o salga aire a la atmósfera.
1. Apriete la conexión de goma en la válvula superior.
2. Levante el dedo de la conexión- luego de bombear 18 veces.
3.Gire hacia abajo y vuelva hacia arriba repitiendo 3 veces.
4. Lea el nivel del fluído en la escala en % en vertical.
EQUIPO FYRITE PARA MEDICIÓN DE CO2 Y O2 EN CALDERAS

El FYRITE (Bacharach) es un equipo del tipo de absorción química, para la medida del CO2 , habiendo similares para O2.

En el caso del **CO2** (anhídrido carbónico), se utiliza **hidróxido de potasio** (KOH) como absorbente, a una determinada concentración (este absorbe a la suma de CO2+SO2, siendo por lo general muy baja la incidencia del SO2%). La medición es una medida en una columna hidráulica (tubo con gas y líquido) que será sometido al peso de la solución y a la presión de la misma al absorber el CO2, y por medio de una membrana a la presión atmosférica en la parte inferior de la cámara del líquido (previa calibración a 0%, al comunicar el interior del equipo con la atmósfera y luego ajustar la reglilla a cero %). Una vez mezclado el gas de muestreo atrapado en la cámara superior con la potasa, el CO2 se absorbe químicamente, lo que hace

disminuir la presión interior, la presión atmosférica empuja el diafragma hasta el equilibrio, en donde al leer el nivel que sube por el tubo central puesto vertical, dará la lectura del CO2% . El medidor de O2, será similar en la operación, aunque el elemento absorbente, será otro producto químico selectivo, o sea que solo actúa con el O2 (el problema con el medidor del O2 es que ante cualquier penetración de aire, cuando el equipo está en reposo-guardado- se agota el líquido, cosa que no ocurre con la potasa).

Estos equipos tienen la gran ventaja de la simplicidad y la facilidad de su mantenimiento (o reparación), su error, si bien puede ser de hasta 0,5%, su precisión es suficiente para el ajuste de la combustión en la calderas más comunes .

Recordar que estos equipos miden los gases en relación seca (considera el agua en los gases de chimenea como ausentes o sea, condensados).

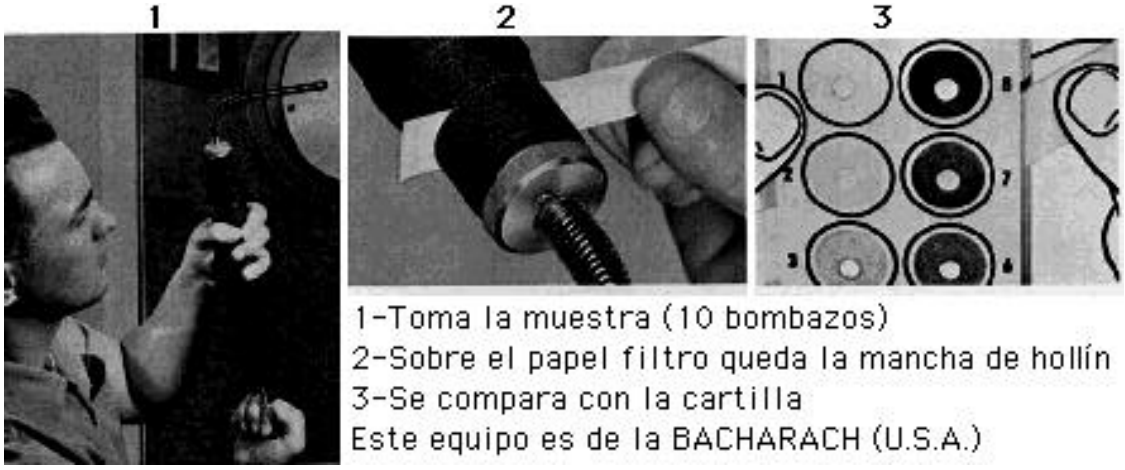
Un control fundamental :

El monitoreo del hollín (micro-hollín) **en los combustibles líquidos, es conveniente hacerlo con una bomba de hollín del tipo BACHARACH,** de esta manera sacamos una medida directa del problema en los gases de chimenea (al pasar 1,809 ltrs. de gas por un orificio de 1/4" con un filtro de papel que deja la mancha del micro-hollín comparable con un cartilla calibrada de acuerdo a la intensidad de la mancha, según normas ASTM).

En F. Oíl pesado el Nº máximo admisible de la mancha es el Nº3 y en F. Oíl calefacción el Nº2. Pero, recordar que son los valores máximos, lo que no significa que debemos aceptar dichos valores como valores standard de trabajo normal. En la práctica, los valores oscilan 1 o 2 Nº por debajo (en F. Oíl pesado es normal tener un Nº por debajo de Nº1, especialmente en quemadores de atomización a vapor y aún mecánica).

¡ Pero cuidado! La mancha de hollín está en relación al exceso de aire. Ejemplo: si tenemos Nº2 en un exceso de aire del 30% (£=1,3), si lo comparamos con un Nº2 con un exceso de aire del 60% (£=1,6), es evidente que en este último caso, en realidad hay mucho más hollín, **ya que hay una dilución por el propio exceso de aire** (¡como si en un vaso de vino pusiéramos más agua!).

BOMBA SACA MUESTRAS DE HOLLIN BACHARACH


1
2
3
1-Toma la muestra (10 bombazos)
2-Sobre el papel filtro queda la mancha de hollín
3-Se compara con la cartilla
Este equipo es de la BACHARACH (U.S.A.)

El uso de esta bomba de hollín es aconsejable para combustibles líquidos, no así para leña o gases. (Ya que por lo general no encontraremos hollín en la quema de gases o celulósicos).

LA LEÑA COMO COMBUSTIBLE (o celulósicos en general) **y su combustión.**

En la **de la leña** (trataremos aquí a la leña de eucaliptos) **, también vale la modulación continua, diferenciandose la forma de quemar : por gasógeno o la quema directa. Las pérdidas fundamentales en la combustión de la leña también son el exceso de aire y en forma muy importante los gases sin quemar, pero no dejan de ser menos importantes en el costo final, el manejo de la leña, tanto en los cortes, el acarreo, o en el secado como en el manejo.**

Si los **gasógenos** se pudieran automatizar con instrumental adecuado, es probable que tecnológicamente parezca más eficiente, pero en la práctica hay otros problemas como veremos, uno de ellos es que la llama secundaría no es visible por lo que **no es muy fácil de controlar** la combustión completa y pueden descargar por la chimenea gases sin quemar (pudiendo ser la pérdida hasta más del 5% por cada 1% de CO en gases secos).

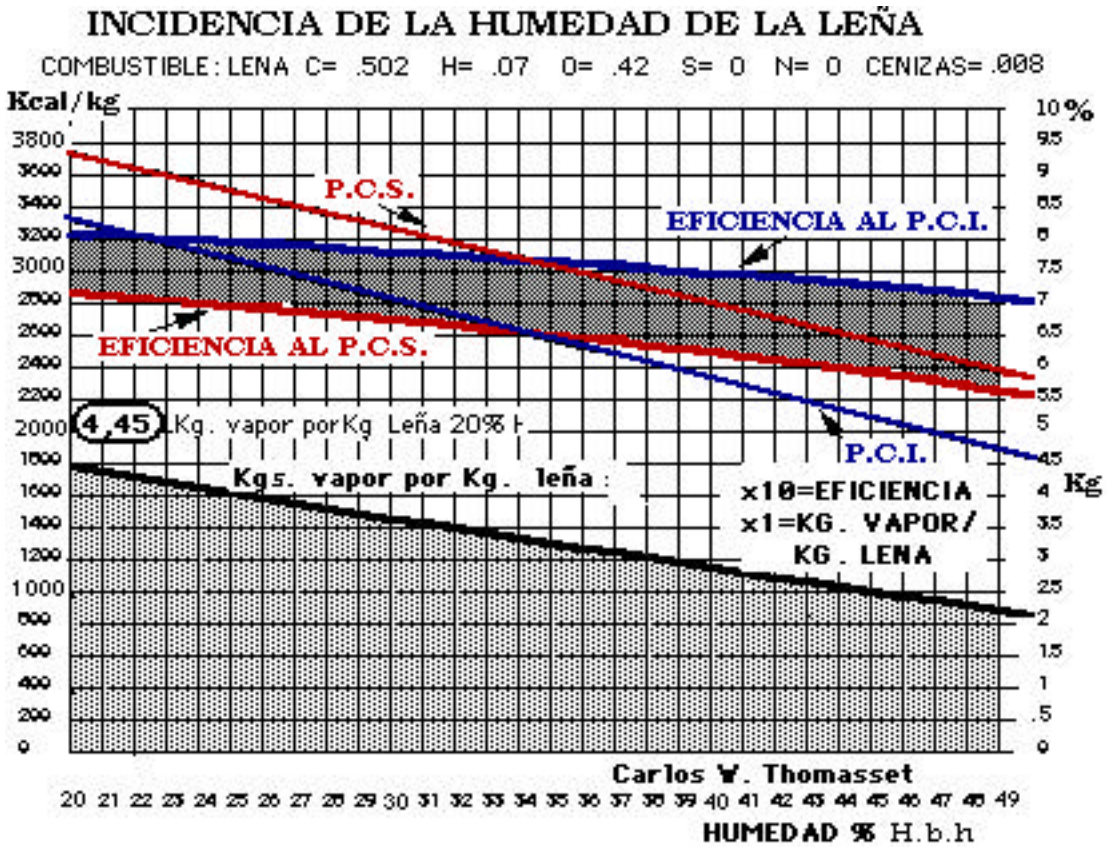
En la **quema directa** la llama es observable, esto permite controlar que la combustión sea completa.

Además se debe considerar el corte de la leña (**rolos cortos** en el gasógenos y **rolos largos** en la quema directa, siendo esta última

con menos cortes, lo cual es un ahorro en su adquisición), además la **humedad o tiempo de estacionamiento** juega un rol importante. Los rolos cortos son más difíciles de estacionar, hay mucho laboreo por lo que generalmente se hace a granel, esta disposición con falta de venteo provoca grandes pérdidas por putrefacción (he comprobado hasta un 30% de pérdida en calderas en 6 meses con la descarga a granel de los camiones o sea montones de rolos cortos o astillones), en el caso de rolos largos el estacionamiento por lo general se hace en forma de **pilas ordenadas** lo que hace que la putrefacción sea mínima (por lo general los rolos más bajos en contacto con el suelo, especialmente si el suelo es húmedo o hay mucha vegetación, puede haber algo de putrefacción).

O sea, tenemos que evaluar el costo final del consumo de leña desde el monte a la boca de carga de la caldera.

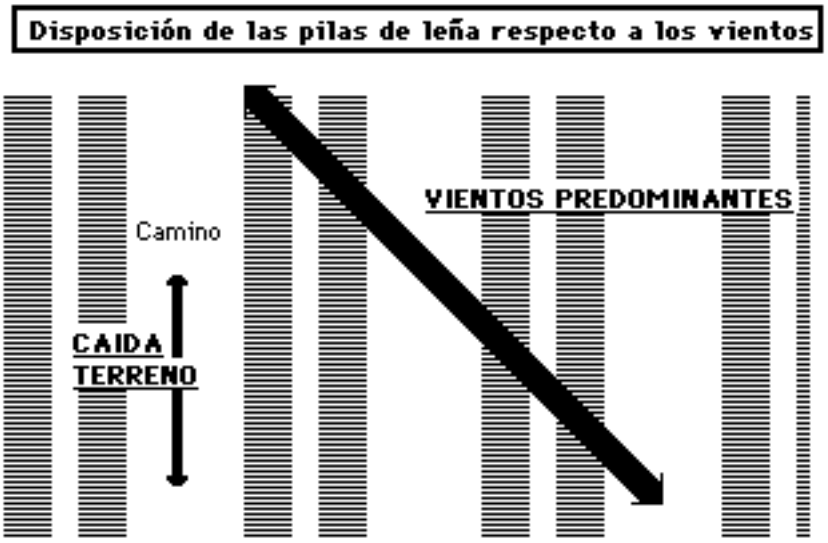
Si bien la leña obliga en el secado a un capital depositado por un tiempo, a veces tan largo como un año (generalmente un verano de secado es suficiente, esto significa más de 6 meses en algunos casos), **se plantea el problema del costo de dicho capital improductivo, pero, si quemamos la leña con una gran humedad** (los rollos de eucaliptos al cortarse tienen una humedad en b.h. de 55% a 60%, en el caso del gasógeno conviene secarlos a menos del 30% H.b.h., pudiéndose en la quema directa, con aire precalentado, quemarse con una humedad de hasta el 35% o más), **se producen grandes pérdidas por el agua que debemos evaporar y sobrecalentar en chimenea, además se generan gases no quemados** (por lo general si la humedad es alta, la combustión no es buena, lo que obliga a un exceso de aire por lo general el doble del % de humedad, así una leña del 35% H. b.h. el aire necesario para una buena combustión sería aproximado al 70% de exceso o de lo contrario aparecen por lo general gases no quemados. En la quema directa, precalentando el aire de combustión, se logra bajar el exceso de aire). **Otras pérdidas importantes se producen en este caso** (quemar con alta humedad) **por el rápido ensuciamiento de las superficies de transferencias y las paradas obligatorias para la limpieza** (con la leña con exceso de humedad, produce una combustión sucia, cuyos gases arrastran “alquitranes” y otros elementos que ensucian rápidamente las superficies, esto obliga a parar con frecuencia la caldera, ya que no solamente baja la eficiencia, sino que hay dificultad para hacer circular los gases de combustión, llegando un momento en que falta exceso de aire, lo cual empeora rápidamente la situación).



En **el gráfico anterior** (a la **izquierda** en las ordenadas, las Kcalorías de los **P.C.**, en la **derecha**, las ordenadas **x10** las **Eficiencias** y por **x1**, los **Kg. de vapor por Kg. de leña**, como abscisas la humedad de la leña en base húmeda: **H.b.h**.), vemos que la humedad de la leña entre 20% H.b.h. a 49%H.b.h., los Poderes caloríficos bajan en una curva descendente (disminuyendo más el P.C.I. debido al contenido del agua por la humedad que aumenta), que hace que la Eficiencias también bajen. **Esto se refleja más en que con una humedad del 20% H.b.h. se producen 4,45 Kg. de vapor por Kg.Leña, pero cuando la humedad aumenta al 49% H.b.h., solamente se pueden producir unos 2,25 Kg.vapor por Kg. de leña** (hemos supuesto que el exceso de aire es el doble que la humedad en %, operando una caldera con valores que se han mantenido constantes, salvo el exceso de aire).

En lo personal, pienso que el mejor negocio, **es llevar la leña a una humedad que permita la combustión completa y con el mínimo exceso de aire**, dando un ensuciamiento más bajo, **en cada sistema.** (en el gasógeno próximo al 25% H.b.h. y en la quema directa

hasta un 30%H.b.h.),buscando **bajar los costos en el acarreo** (**secando en el monte**), regulando la combustión con instrumentos, manteniendo la caldera limpia y operando los más moduladamente posible.



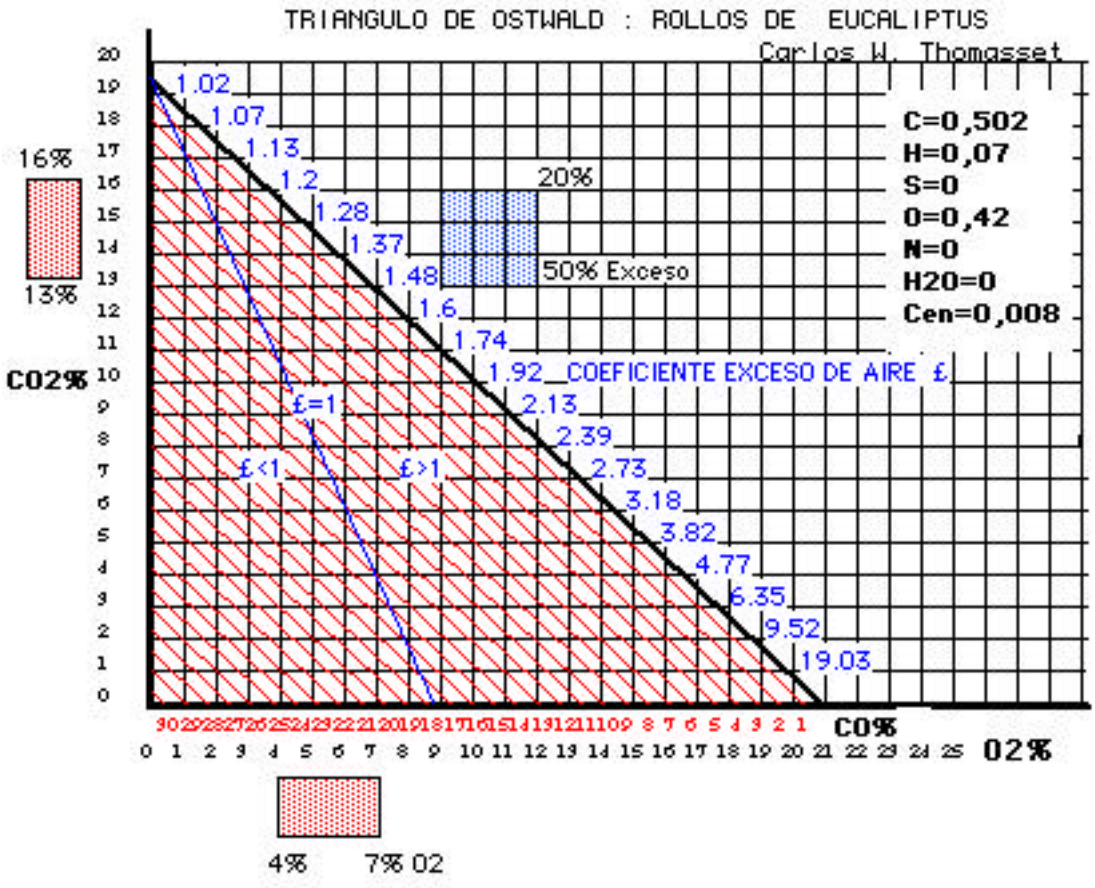
El apilado de la leña para el secado es un tema de primaria importancia, ya que debe haber buena circulación de aire entre los rollos, así evitamos los "microclimas" húmedos, que evitan el secado y aumentan las pérdidas por putrefacción.

Lamentablemente en este país la leña se acarrea verde, lo cual significa acarrear un 40% más de peso que tiene un costo adicional e inútil.

Es evidente que si la leña **se dejara secar en los campos de corte o próximos a ellos**, no solamente **se acarrearía un 40% menos de peso** (o sea que el costo de las Kilocalorías disponibles en la boca de caldera sería menor), ya que la **incidencia del acarreo en la leña es muy grande**, sino que también **habría una disminución de acarreo de cáscaras**, cuya combustión no resulta atractiva debido a su alto contenido de elementos que ensucian tanto la parrilla de combustión como las superficies de transferencias (en la cáscara hay gran cantidad de elementos inorgánicos, que forman la ceniza en su mayor parte).

Una solución para alargar los períodos de limpieza en las calderas con la quema de leña (también en algunas cáscaras como el arroz), sería la utilización de elementos que ayuden a que la ceniza no se deposite fácilmente, esto se logra parcialmente, **insuflando pequeñas cantidades de dolomita en polvo fino** (la dolomita, un

compuesto de carbonato de calcio y magnesio, altera el punto de fusión de las cenizas e impide que la ceniza se "pegue" fácilmente sobre las superficies frías). Si bien tiene un costo adicional de operación, hay que evaluar que **en la caldera aparecen 3 pérdidas : 1-la EFICIENCIA que irá decayendo a medida que la caldera se ensucia** (sube la temperatura de gases de chimenea y por lo tanto la pérdida), **2- la falta de exceso de aire produce gases sin quemar** (que representan una gran pérdida) **y además : 3-el costo de la parada para la limpieza de la caldera** (que muchas veces lleva varias horas y varias horas-hombres), **lo que lleva por general una parada de producción muy costosa.**



El control de la combustión, además de visual (que solamente es posible en la quema directa) **debe ser hecha con control de instrumentos, midiendo el exceso de aire** (como hemos dicho, depende la humedad de la leña, ya que a mayor humedad, más exceso de aire, podemos decir que el exceso de aire puede ir del 30% al 50%, de acuerdo a una humedad normal (25-30% H.b.h.), ya que si se trabaja por debajo del exceso necesario, se producen gases sin quemar, lo que

provoca grandes pérdidas por chimenea).

Podemos como resumen, que por lo general, el exceso de aire en combustión a leña, se corresponde al doble en % de la humedad en base húmeda. Aquí queda muy claro que el quemar leña con mucha humedad se tiene mayores pérdidas: por humedad propia de la leña, por el exceso de aire necesario y porque muchas veces no se logra la combustión completa.

El control del exceso de aire, debe hacerse con instrumentos que midan tanto el CO2% como el O2%, con un control obligado de gases sin quemar o CO , pero se debe tener en cuenta que la mayoría de los equipos de medición de celdas electro-quimicas u otros, pueden **"envenenarse" o ensuciarse al poco de usarse**, ya que los humos de chimenea en la quema de leña están por lo general, cargados de elementos orgánicos de una combustión no completa, llevando al alterado de la celda a dar lecturas falsas.

Un aparato con muchos años, que todavía se usa, tiene gran utilidad en el control de la combustión a leña, es el ORSAT, que mide por absorción el CO2%, O2% y el CO%. (si bien, su apreciación es de relativa precisión, **su lectura** y un **triángulo de OSTWALD**, lo hacen un instrumento ideal para el control de este tipo de combustión tan sucia).

El ORSAT funcionamiento:, atrapando en una bureta a 100 cm3. de gas, gas que se bombea a través de un enfriador y un filtro (enfriando y sacando los elementos que arrastran los gases como sólidos). El desplazamiento del gas de la chimenea se hace por medio de una "pera de goma" (bomba), que se conecta en la bureta de medición desde la parte superior de la bureta de medición (bureta que está sumergida en un tubo de agua para mantener la temperatura de la muestra durante toda la operación de medida) y sale el gas sobrante por la parte inferior de la bureta por medio de un vaso conectado que sirve para el desplazamiento del gas y sello (subiendo y bajando el vaso, introduce o retira el líquido de confinamiento por efecto de vaso comunicante, pero cuando se introduce el gas desde la chimenea, se empuja el gas con la "pera" de goma, pasando el gas por el líquido que hay en el vaso, barbotando en este el sobrante, que debe ser suficiente para desplazar todo el gas anterior y que quede solamente gas a analizar). Este vaso, sirve de sello y contiene la solución de "confinamiento", una solución cargada de sales que no absorbe el gas, de manera de impulsar el gas a través de los recipientes de absorción, a través de las válvulas de maniobra, además permite ajustar los 100 cm3. al hacer el enrase del cero de la bureta o sea los 100 cm3, estableciendo la igualación de las superficies del líquido de confinamiento en la bureta y en el vaso, empujando el exceso de gas al exterior por medio de una válvula de 3 vías, por donde pasó la muestra

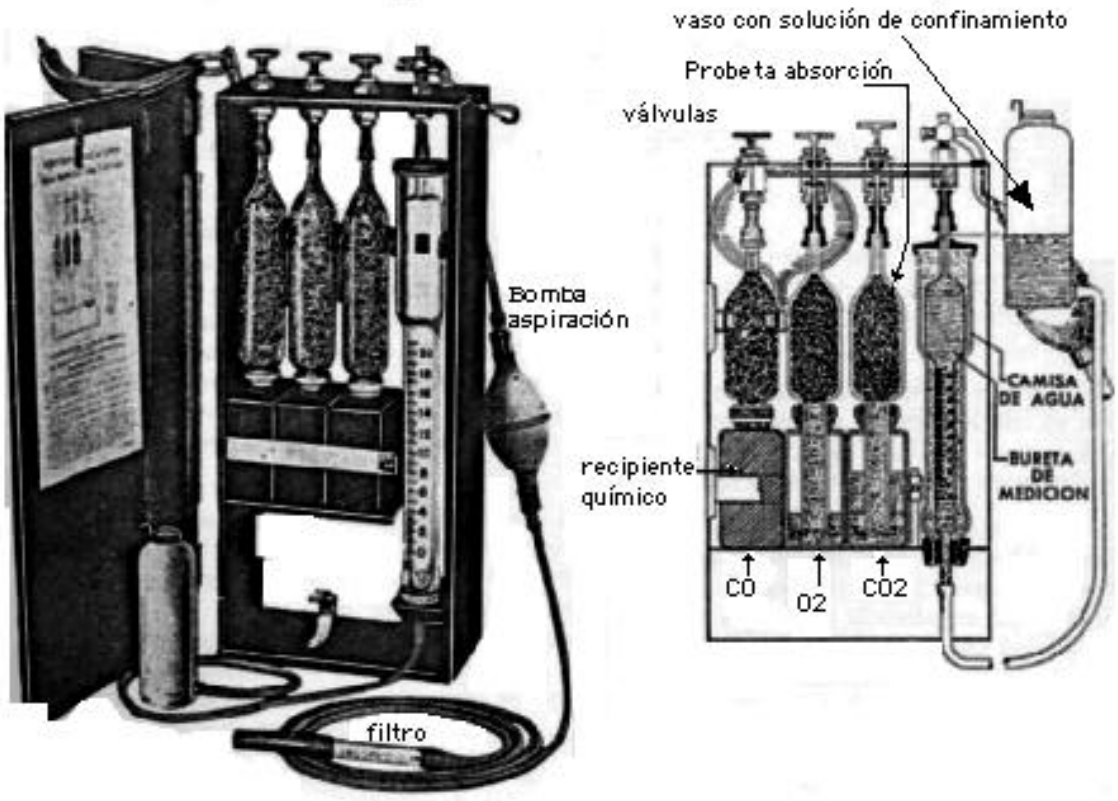
para entrar a la bureta. Los recipientes de absorción, previamente han sido enrasados a cero con sus líquidos de absorción, utilizando una válvula individual de cada recipiente, será introducido el gas en cada "pasada" de absorción en cada recipiente, pasando el líquido de absorción a un recipiente auxiliar (un globo permite el desplazamiento del líquido de absorción al recipiente auxiliar y no dejando que este esté en contacto con la atmósfera), luego volviendo el líquido absorción al retirar el gas nuevamente a la bureta, **al maniobrar este vaso**, que además sirve para igualar las presiones externas de la atmósfera con la interna, para hacer las lecturas de la absorción de los distintos gases (recordar que el vapor de agua de la combustión, condensa por estar la bureta a temperatura ambiente, **es decir, las lecturas de los gases, serán en base seca).**

En la **primera probeta** se absorbe el **CO2** por medio de **potasa** (hidróxido de potasa, la potasa es muy similar a la soda cáustica), se pasa el gas hasta lectura constante (se introduce el gas al recipiente de absorción y se retira varias veces, tratando que todo el gas de la bureta sea desplazado al recipiente de absorción), luego se mide en el gas restante que se introduce nuevamente en la bureta, esta medida debe ser muy cuidadosa, observando el "menisco" que forma la solución de confinamiento en la zona de lectura de la bureta, previo el equilibrado de las presiones con el vaso, subiendo y bajando el vaso, hasta que el nivel de la bureta y del vaso sean iguales, en este momento las presiones serán iguales (esto es muy importante, de lo contrario el gas en el interior de la bureta podrá estar comprimido o dilatado, dando un falso valor). En la **segunda probeta** se absorbe el **O2**, utilizando como absorbente el **ácido pirogálico** (una solución preparada libre de oxígeno, este ácido sale de la madera), una vez medido el **O2,** haciendo la diferencia con la medida del %CO2, queda el **CO** que se mide en una solución que lo absorbe, a base de **cloruro cuproso**. **Es muy importante hacer las absorciones cuidadosamente, ya que si sobra un elemento del paso anterior, esté será absorbido por el paso siguiente, dando una falsa lectura.**

La preparación de los elementos absorbentes no son ningún secreto, estos aparatos se fabrican en **URUGUAY**, cosa que lo hace muy ventajoso. Su manejo parece un poco engorroso, pero en la práctica de trabajo, se hace sin ser un trauma, especialmente, si usamos un **triángulos de OSTWALD**, ya que las lecturas deben casi cerrar en un punto de la gráfica (o por lo menos un pequeño triángulo, cuyo centro de gravedad será el punto a tomar en cuenta), de lo contrario se ha efectuado mal alguna de las medidas. El exceso de aire se puede calcular sin conocer la composición química exacta del combustible, utilizando para ello una fórmula. **A veces los instrumentos electrónicos nos dejan dudas mayores, ya que por lo general, deben**

ser calibrados en laboratorios que por lo general no hay en plaza.

ORSAT para medición de CO2, O2 y CO



En la práctica, en las calderas humo-tubulares de quema directa, se puede monitorear la combustión observando la llama:

Si la **llama es larga y llega al "fondo" de la caldera, falta aire o hay mala combustión.**

Si la llama llega a **1/3 del hogar cilíndrico**, **el aire es el suficiente**.

Si la **llama no entra casi al hogar**, **hay exceso de aire**.

QUEMA DE GASES y su efecto en la EFICIENCIA.

En la quema de gases (tanto naturales como artificiales), hay problemas de economía a resolver.

La relación aire a combustible es fundamental (que sea la mínima posible, es decir, con el mínimo exceso de aire) **y el problema se agudiza en los bajos excesos, ya que la combustión no es visible en su terminación, lo cual puede ser que haya falta de aire o no haya una adecuada mezcla y con ello una gran pérdida de gases sin quemar** (valor muy importante económicamente y el problema de la contaminación con dichos gases como el CO - monóxido de carbono).

Esta pérdida de gases sin quemar, es una pérdida económica directa (calorías sin aprovechar), contaminación y problemas de corrosión en chimeneas (se forman gases, que pueden ser ácidos orgánicos que atacan el hierro).

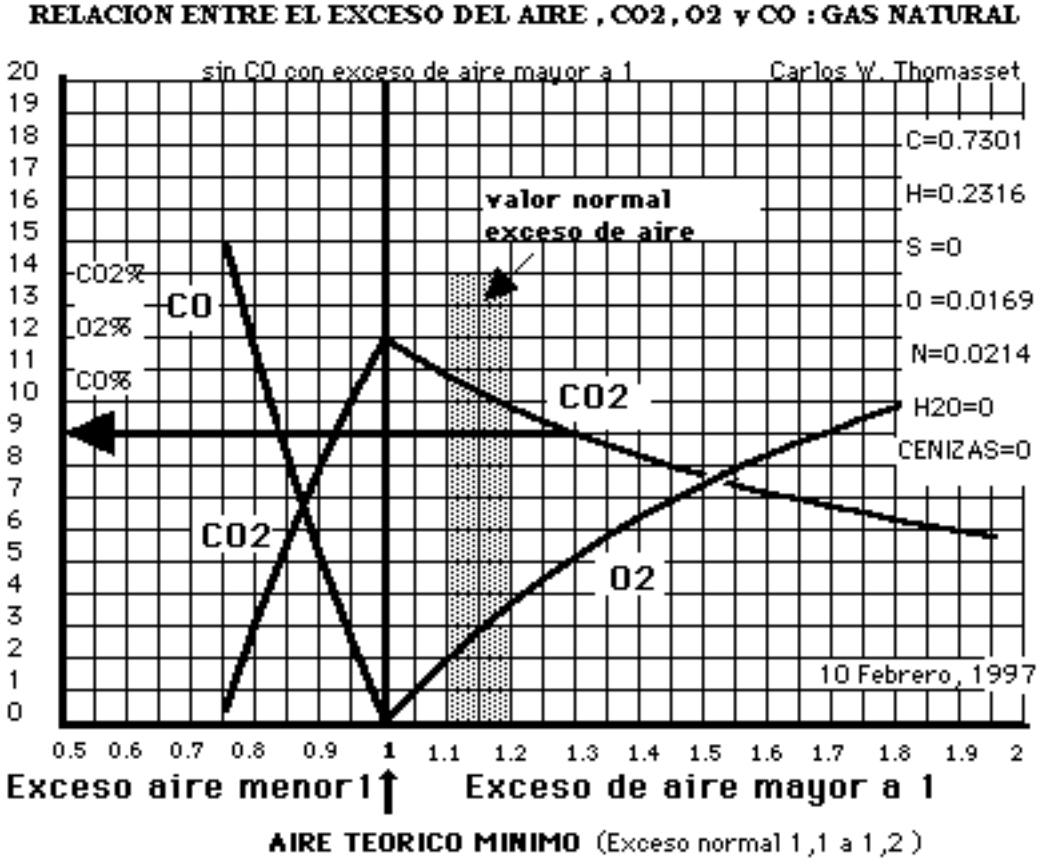
En este caso, con un exceso de aire bajo, es imprescindible **medir los gases sin quemar o el CO**, **además del CO2 o el O2**, ya que de lo contrario no sabremos si la combustión es completa. En la combustión como en el F.Oíl hay humos si hay combustión incompleta, pero **en la combustión de gas no habrá humos indicando la mala combustión** (en la leña el tema es parecido al de los gases). **Pero, debemos tener presente, que aunque haya aire suficiente, también puede haber mala combustión por mala mezcla de aire-combustible, combustión muy fría o choque con superficies frías, falta de volumen para la combustión o tiempo** (entrando los gases en combustión en los tubos de la caldera humo-tubular, **la combustión cesa por enfriamiento**, también , a veces entre los tubos de la caldera acuo-tubular, **la combustión se detiene y quedan gases sin quemar**).

La gran ventaja de la quema de gases, es que si se logra una buena combustión, no habrá pérdidas adicionales por falta de transferencia (no habrá hollín) **y desde el punto de vista ecológico habrá menos producción de CO2** (el contenido de carbono respecto al hidrógeno es menor, por lo que se formará más agua o sea H2O y menos anhídrido carbónico o sea CO2). **Pero se acumula parte en la atmósfera, creando el "efecto invernadero"** (buena parte se reintegra a la tierra, al agua, pero su efecto es notoriamente perjudicial, ya que no hay un ciclo "regenerativo" compensatorio como la combustión de leña, que se compensa con el árbol a reponer).

La falta de hollín hará que no habrá cepillados de tubos en cortos períodos, ahorro muy significativo. El problema de hollín en el entorno, no será un problema.

El exceso de aire en la quema de gases debe ser lo más bajo posible, a los efectos del ahorro de combustible, además con los gases se puede por lo general trabajar con exceso tan bajos como el 5%, siendo normal entre 10% y 20% en quemadores no muy sofisticados. Pero atención al problema de medición.

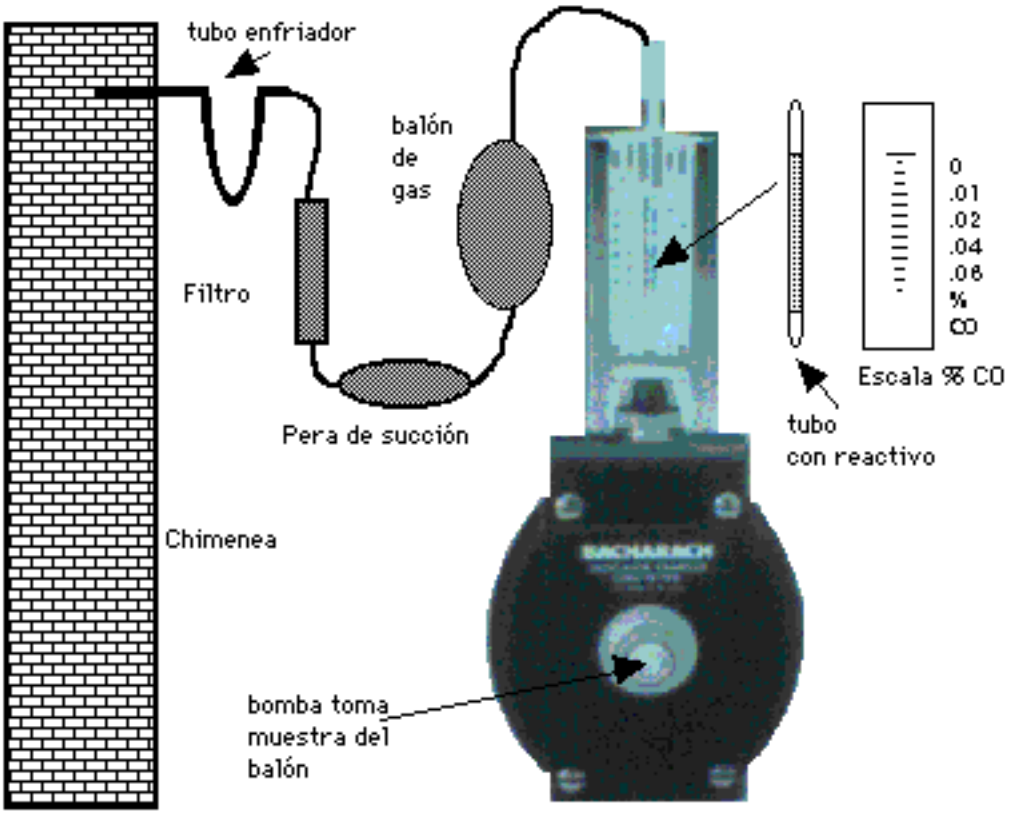
Veamos en una gráfica, la confusión que puede provocar la sola medida del CO2 (o del O2 si hay mala mezcla del gas con el aire) en la combustión con gases.



En la gráfica anterior, estamos mostrando que en la quema de gas natural se puede cometer el error de estar quemando el gas natural con falta de aire, **si solamente estamos midiendo el CO2,** ya que no hay humos y el color de llama es difícil de monitorear. **Por lo que al medir CO2%, debemos de considerar la medida del CO** (en algunas circunstancias, sobrando el O2 o sea que al medir O2 nos da O2% con un valor aceptable, sin embargo, puede ocurrir que haya mala combustión por mala mezcla, enfriamiento, falta de tiempo de reacción de la combustión, etc., sin embargo se puede estar en una zona de falta de aire o en una zona que hay suficiente aire pero mala combustión, **este efecto se ve mejor en un diagrama de OSTWALD**).

Para medir el CO% (monóxido de carbono), **se pueden utilizar distintos tipos de instrumentos** (como los anteriormente

indicados), **pero, un instrumento práctico puede ser el MONOXOR de BACHARACH** (cuyo principio de funcionamiento se basa en pasar una muestra del gas de chimenea, un determinado volumen, por el interior de un pequeño tubo, que contiene una sustancia que cambia de color con la presencia de CO, según la cantidad % de CO, será el largo de la zona que cambia el color, Ver figura siguiente:

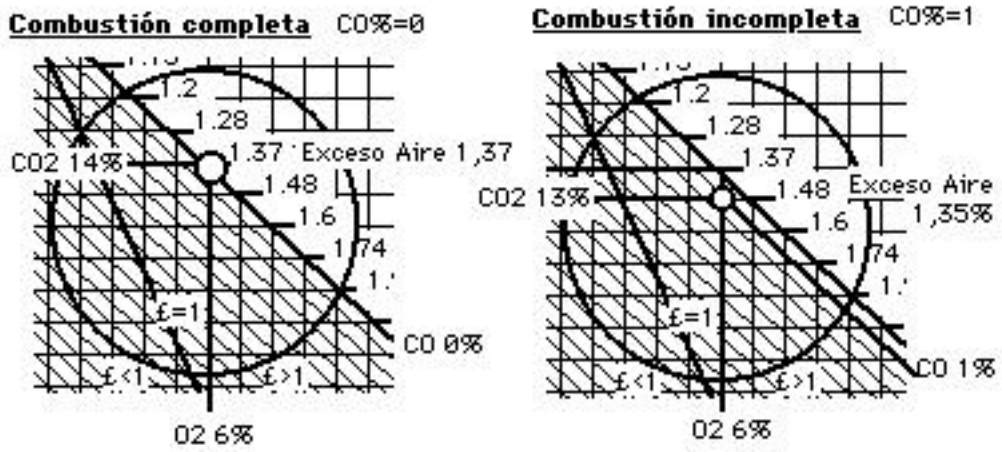


INDICADOR DE MONOXIDO (MONOXOR BACHARACH)

La gran ventaja de este aparato, es que no se precisa calibración (los tubos se utilizan hasta 2 veces, cambiando el sentido de conexión, tienen una vida útil de 2 años o más si se guardan en frío). El aparato en sí consta de un balón que se llena con el gas de chimenea por medio de una bomba de goma-pera- succionando por medio de un caño enfriador y un filtro. Este balón permite que haya una desplazamiento positivo de baja presión hacia el tubito con el indicador, pero para que pase un volumen calibrado de muestra, el **aparato tiene una bomba**, que se acciona una vez o más, según sea el rango elegido para la medida. Hay, detrás del tubito, ajustable, una cartilla, con varias escalas, de acuerdo a las veces que se acciona la bomba, teniendo una precisión bastante aceptable (además, este aparato es ideal para chequear tanques o ambientes contaminados con

CO, a los efectos de seguridad), además si cambiamos el orificio interno, el tipo de tubito y la escala, este mismo aparato permite medir otros gases de combustión (NO2, CO2, SO2, H2S, Cl2).

Recordar que por cada 1% de CO en gas de chimenea (en base seca), perdemos próximos al 3 al 5%.



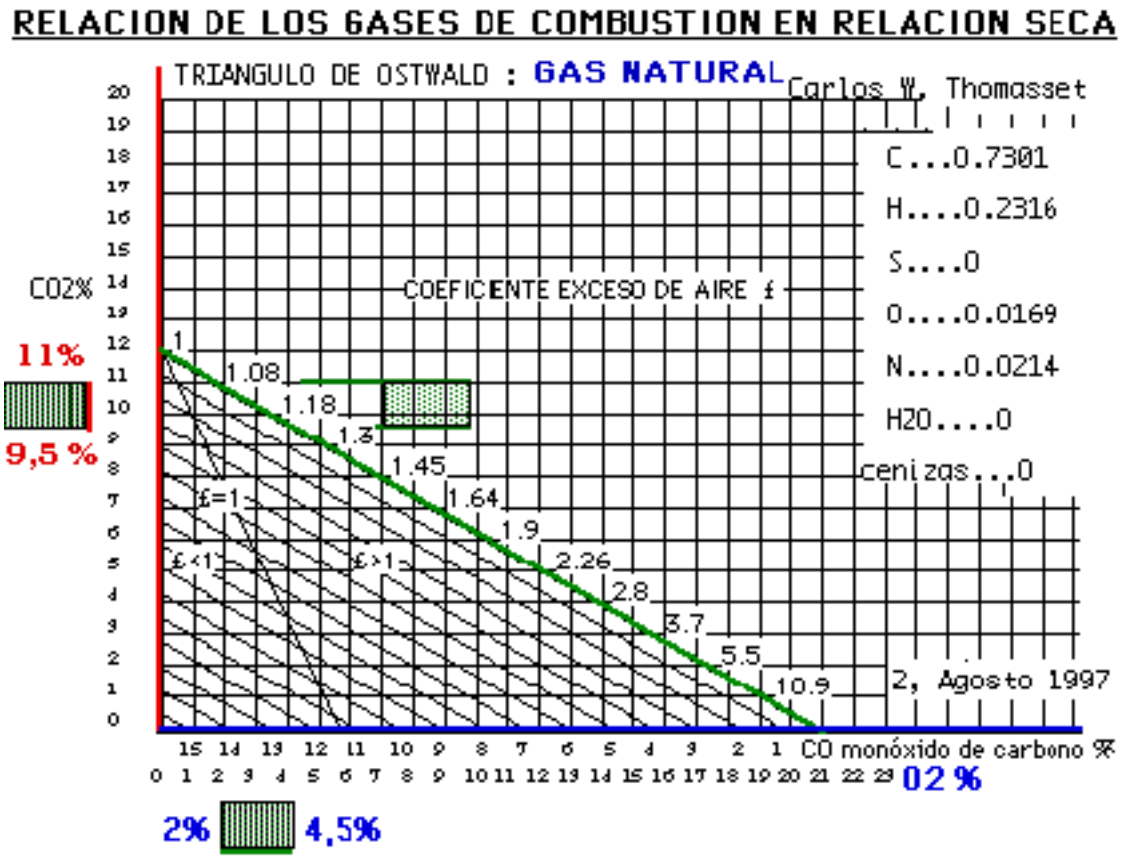
En el gráfico anterior se pone un ejemplo en una triángulo de OSTWALD referido al caso de la leña (problema similar al que ocurre con los gases).

MEJORA DE LA EFICIENCIA

Una de las mejoras de la EFICIENCIA en las calderas, es bajar la temperatura de chimenea, lo cual hace al aumentar la Eficiencia de Combustión y Transferencia y por lo tanto la Eficiencia Total. Esto depende de las superficies de transferencia y tiene un límite rentable en la fabricación de la caldera debido al salto térmico entre la temperatura interna del agua y el vapor de la caldera (ambos a la misma temperatura), **con los gases ya casi fríos a la salida de la caldera** (actualmente, este salto térmico se limita cuando la caldera llega a 100x100 de su capacidad a casi más de 50ºC, valor que en calderas más antiguas era de más de 100ºC). **Esto hace que ya no sea rentable la fabricación de una caldera con mayor superficie de recuperación. De allí en adelante se recurre a otros métodos, utilizando recuperadores de calor** (economizadores o calentadores de aire) **cuyo salto térmico vuelve a ser importante ya que se utilizarán fluidos a menor temperatura que los gases de la chimenea a la salida de la caldera.**

Cuando se aumenta la Eficiencia bajando el exceso de aire, además de no perder calor en calentar un aire que no se utiliza, también se mejora porque baja la temperatura de chimenea (hay un tiempo mayor de transferencia, a pesar de que el coeficiente de

transferencia baja por bajar la velocidad de los gases).



Pero en la combustión a gas natural y otros gases, lo realmente tentador, además de lo dicho, es la posibilidad de bajar la temperatura de chimenea a valores muchos más bajos que de los combustibles líquidos y aún, los de la leña. Este calor de chimenea, con un alto salto térmico, se podrá utilizar tanto en recuperadores de calor para el calentamiento de aguas, aires, etc. y en muchos casos hasta la **utilización directa de los gases de chimenea** sobre el proceso (cuando la contaminación no sea un problema, ya que por lo general los gases no tendrán azufre (SO2 ó SO3), pero si hay mala combustión, habrá elementos contaminantes (gases ácidos orgánicos y otros).

Una vez que tenemos la caldera, en algunos casos podemos bajar la temperatura de chimenea, mejorando ciertas condiciones, pero como primera condición, bajando el exceso de aire, los otros procedimientos serán :

1- buscando que la combustión sea lo más próximo al punto de partida o quemador (o sea que la llama no sea demasiado larga en el hogar para tener mayor posibilidad de transferencia y que la llama entregue su calor), **2-** poniendo **retardadores o torbellinos en calderas humo-tubulares** (**en el caso de los retardadores** mejoramos la transferencia al acelerar los gases sobre las superficies de transferencia y también al hacer que los retardadores al tomar temperatura puedan irradiar estas sobre las superficies de transferencia, mejorando con ello la misma- no olvidar que en el interior de los tubos la transferencia por lo general es más por conducción y convección, siendo mínima la de irradiación, **en el caso de los torbellinos** la mejora de transferencia es porque aceleramos el impacto de los gases sobre las superficies de transferencias, mejorando el coeficiente de transmisión, en algunas de estas calderas, la falta de los torbellinos por deterioro puede hacer que la pérdida sea hasta más del 20%).

En algunos casos, **especialmente en calderas acuo-tubulares,** se podrá disponer de **baffles o tabiques** que obliguen a los gases a buscar la mejor forma de transferencia térmica, pero esto se debe estudiar cuidadosamente para evitar una alteración de la circulación interna del agua de la caldera o un recalentamiento local.

Esto demuestra la importancia de tener un termómetro de chimenea, que permita monitorear la temperatura de los gases expulsados, ya que esta temperatura estará indicando todo aquel problema de eficiencia como : superficies sucias, retardadores o torbellinos faltantes, tabiques en mal estado (se cortocircuitan los gases, by-paseando parte de la caldera)**, etc. Quedando solamente el exceso de aire y los gases no quemados (también el hollín) para monitorear con equipos de control de gases.** En el caso del hollín, al ensuciarse las superficies de intercambio, el termómetro lo indicará al aumentar la temperatura de chimenea con una misma carga.

2-La instalación de recuperadores de calor, la instalación de economizadores (calientan agua de alimentación o para otros usos), **calentadores de aire** (para combustión de la propia caldera o para utilización en la planta). **Es evidente que aquí se deberá estudiar el problema de corrosión** (con los F. Oíl pesados y derivados del mismo, que contienen azufre, la temperatura del hierro en contacto con los gases debe ser estudiada, generalmente los gases no se podrán bajar de 160ºC ó 180ºC, dependiendo del tenor de azufre, en otros combustibles se puede trabajar con temperaturas mucho más bajas, e inclusive con la **combustión de los gases** se puede **aprovechar hasta el calor latente del agua formada en la combustión**). En leña, si hay

buena combustión, la temperatura se puede bajar hasta casi los 60ºC.

3-La sala de calderas juega un papel importante, ya que si es posible alimentar el aire de combustión lo más caliente posible, no solo mejora la combustión al tener la llama mayor temperatura, sino que es calor que se suma al calor generado por el combustible. Este calor si bien puede ser recuperado de los gases de chimenea, que de los contrario es un calor perdido (a través de equipos recuperadores de calor, teniendo cuidado de no bajar la temperatura de los gases por debajo de la mínimo en que se produzca corrosión debido a la condensación de los ácidos y la humedad de los gases), **de todas maneras es una práctica importante : aprovechar el calor perdido en la sala de calderas, tomando dicho aire ambiente y no el aire frío exterior** (especialmente en invierno, error que se comete a menudo).

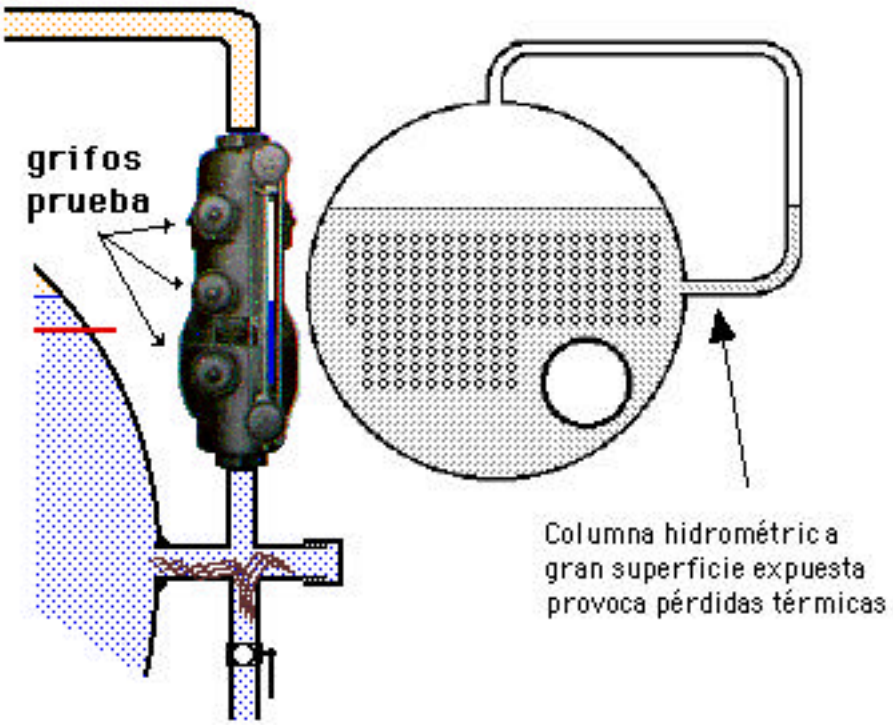
Si en la sala de caldera la succión del ventilador provoca ruidos en exceso, **es mejor disponer de un silenciador que tome los aires de la sala** y no tomar el aire frío exterior (que en invierno puede ser casi 0ºC, provocando mala combustión y especialmente generando una pérdida medible).

CALOR PERDIDO EN LA CALDERA COMO EQUIPO TÉRMICO

Si bien en la caldera, tenemos las **pérdidas provocadas por las purgas** (que estudiaremos en el próximo bloque), tenemos las pérdidas propias de todo equipo de vapor que tiene conexiones, por las cuales se pierde vapor (platinas, roscas, vástagos de válvulas y la propia aislación por buena que esta sea).

Tenemos pérdidas térmicas directas, a través de la aislación (que generalmente comprende la envuelta en las calderas humo-tubulares y los "casing" o cuerpos en las calderas acuo-tubulares), **pero conectado a la caldera tenemos una cantidad de accesorios** (válvulas, conexiones, columna hidrométrica, válvulas de seguridad, etc.) **que serán verdaderos "robadores" de calor.**

Ahora están de moda en las calderas humo-tubulares, grandes columnas repetidoras de nivel (columnas hidrométricas de 4" o más, que tienen forma de **C** , lo que hace que el largo sea de más de 1,5 m. o botellones repetidores de un diámetro de más de 8", **si calculamos la superficie expuesta al ambiente**, con el salto térmico del correspondiente vapor saturado, sometidos a dicha temperatura todo el tiempo que la caldera está prendida, **veremos que al cabo de un año, probablemente, la pérdida térmica nos ha costado mucho más de U$S 100/año.**



Considerando en la actualidad la importancia del ahorro energético (por muchas razones), **creo que es hora de que tomemos en consideración dichas pérdidas,** o eliminando superficie (poniendo conexiones directas de menor dimensión) **o aislando dichos elementos,** con lana mineral u otros, con sus forros correspondientes.

En el caso anterior, si suponemos en la columna hidrométrica un Ø100 mm. y un largo de 1.500 mm, con la caldera a 10 Kg/cm2 (la temperatura será de 183ºC en el interior de la columna y en el exterior tomemos 30ºC, será un salto térmico de 150ºC), podemos estimar una pérdida por cada m2 y cada 1ºC de 15 Kcal por hora (15 Kcal/m2./ºC/h, aire suave de sala de caldera, aumenta la pérdida con la velocidad del aire), dado que la superficie expuesta es 0,47 m2, tendremos un pérdida horaria de 0,47x15x150=1.057 Kcal/hora. **Si calculamos en combustible por hora, esta pérdida en F. Oíl será 1.057/9700/0,85= 0,128 Kg. de F. Oíl/h** (al cabo de un año de 340 días de trabajo, será 0,128x24x340=1.044 Kg. F. Oíl/año (más de U$S140/año), si a esto sumamos los controles de nivel (2), el nivel visual, los grifos de nivel, las válvulas de purgas, seguro que duplicamos la pérdida anual (es evidente **esta situación algún día debe de cambiar**). Quizás una manera de aislar en forma simple, sea

enrollar un cordón o cuerda floja (de fibra de roca) de 1", apretada, de manera de que queden las superficies cubiertas, dejando los otros elementos aislados con una manta de material aislante, de fácil desmontaje para el servicio. Ninguna parte en contacto con el vapor o el agua de caldera, debe dejarse sin aislar, salvo las zonas dispuestas para disipación, generalmente en los cuellos de los controles de nivel.

En cuanto a las válvulas de seguridad, se podría aislar hasta las platinas, dejando sin aislar las cajas o si hubiera un "cuello" con disipación para mantener los resortes a la más baja temperatura posible (para evitar que los resortes pueden perder elasticidad al ser sometidos a alta temperatura, especialmente en los sobrecalentadores).

En cuanto a las válvulas en general, se podrían aislar con una manta aislante, desmontable, que dejen las manivelas de operación del lado de afuera (especialmente las pérdidas de los prensas para que el agua no moje la aislación y aumente la pérdida).

En algunas calderas, se puede aislar la **primera parte del sifón de los controles de presión** (presóstato, aislar hasta el nivel del agua que se condensa en el sifón), porque cuando este sifón sea de gran dimensión y se reponga agua con mucha alcalinidad, la permanente condensación provoca corrosión por el CO2 contenido en el vapor, al aislar disminuye la condensación y hace que haya una menor corrosión (ademas, la constante condensación de vapor en el sifón que desborda hacia la caldera, deja partículas de hierro atacado que pueden tapar los presóstato y con ello provocar una falla). Por esta misma razón no aconsejo dejar que haya pérdidas en los sifones o que se estén purgando innecesariamente (alcanza con purgar una vez cada 3 meses, a baja presión, para no perturbar a los tubos de bourdon de los manómetros o fuelles de los presóstato, al quedar los mismos en contacto directo con el vapor).

SIFON "TAPADO" POR CORROSION (OXIDOS O SALES)

Estos fenómenos anteriores, si bien son difíciles de explicar, se confirman en la práctica, aguas con alta alcalinidad, grifos que pierden o excesos de purgas de los sifones.

PERDIDAS EN LAS CALDERAS DEBIDO CONDICIONES OPERATIVAS.

1-Pérdidas debido a las válvulas de seguridad en calderas de leña.

En las calderas a leña, la presión de corte (alta presión) se hace cerrando los aires de combustión (bajo grilla) y los tiros inducidos (ventiladores de tiro en chimenea) y eventualmente cerrando algún aire secundario o terciario. **Muchas veces, la inercia operativa o la ineficiencia en el cierre de los aires y tiros, hace que la válvulas de seguridad se "disparen". Por lo general esto no debe ocurrir en combustibles líquidos y gaseosos que existan presóstato de comando de la presión y el corte de los combustibles, cosa que en la leña el combustible no se puede cortar, está en el interior del hogar.** Como todos sabemos, las válvulas de seguridad de calderas, tienen **una apertura total al llegar a la presión a lo cual están ajustadas** (efecto "pop"), **cerrando luego de que la presión haya bajado por debajo de la presión de apertura, una presión diferencial** (efecto "blowdown"), **esto significa que la caldera debe de bajar la presión : tirando una cantidad importante de vapor** (este efecto de cierre diferencial por debajo de la presión de apertura, por lo general, es una caída de presión, que si no se ajusta, es de más de 2 Kg/cm2), **en muchos casos, se llega a tirar más 1000 Kg. vapor o más si las válvulas tienen un gran diferencial de cierre, dependiendo del tamaño de la caldera** (debido a que las válvulas están en una dimensión correspondiente)**.**

Si ajustamos el cierre diferencial al mínimo, en una caldera a leña, este valor difícilmente se logre bajar a menos de 1 Kg/cm2,

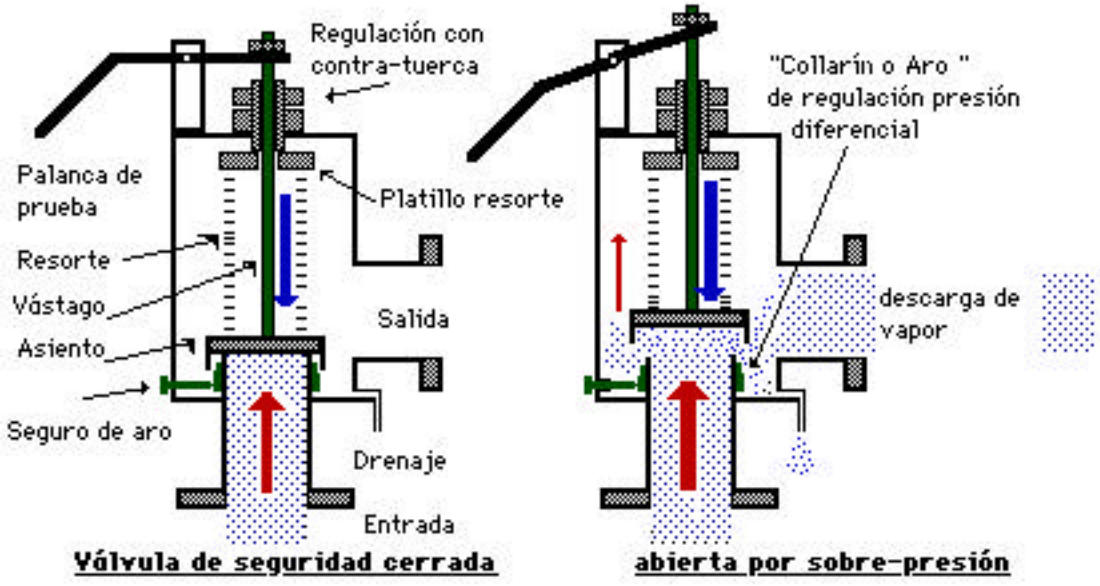
La solución a este problema, para no "tirar" vapor a la atmósfera en exceso, es la instalación de una válvula de alivio (la válvula de alivio tiene un comportamiento diferente, **abre a la presión que se ajusta y cierra prácticamente a la misma presión, por ello no se utilizan como válvulas de seguridad en calderas**, dado que la apertura es proporcional a la presión, lo cual hace que la caldera pueda subir demasiado la presión, cosa que la válvula de seguridad con la apertura total no lo permite).

Esta válvula de alivio, instalada sobre la distribución o colector de vapor, abre los suficiente para aliviar el exceso momentáneo de la presión, evitando tirar grandes cantidades de vapor (si la presión sigue subiendo, abrirían las válvulas de seguridad).

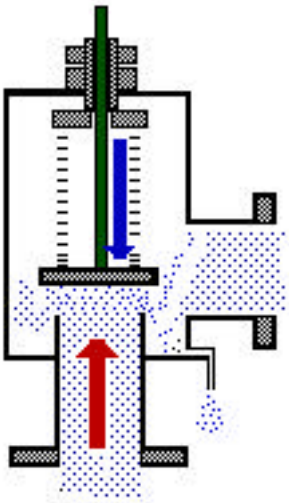
Esta válvula de alivio, de una dimensión mediana, capaz de tirar un 5% al 10% de la producción de vapor, como máximo, por lo general es suficiente, para limitar la presión (con la ventaja

que las válvulas de seguridad no están permanentemente disparando y con ello además entrando en pérdida por este mismo exceso de operación, al "rayarse" asientos). **Además, si se abren las válvulas de seguridad, la caída necesaria para lograr cerrar las válvulas de seguridad afectan la presión de vapor, que hace que los procesos en fábrica sufran alteraciones no deseables.**

Esta misma válvula de alivio, se le puede poner una válvula de corte, para poder cambiarla o hacerle mantenimiento en marcha (cosa que no se puede hacer con una válvula de seguridad).



En la figura anterior se muestra una válvula de seguridad en operación y se muestra la forma del asiento y del aro de regulación que permite que la válvula tenga una apertura total y un cierre diferencial. Las válvulas de alivio, tienen el asiento plano, no hay aro de regulación de cierre, la válvula abre y cierra prácticamente a la misma presión y la apertura es proporcional a la presión ejercida sobre el asiento.



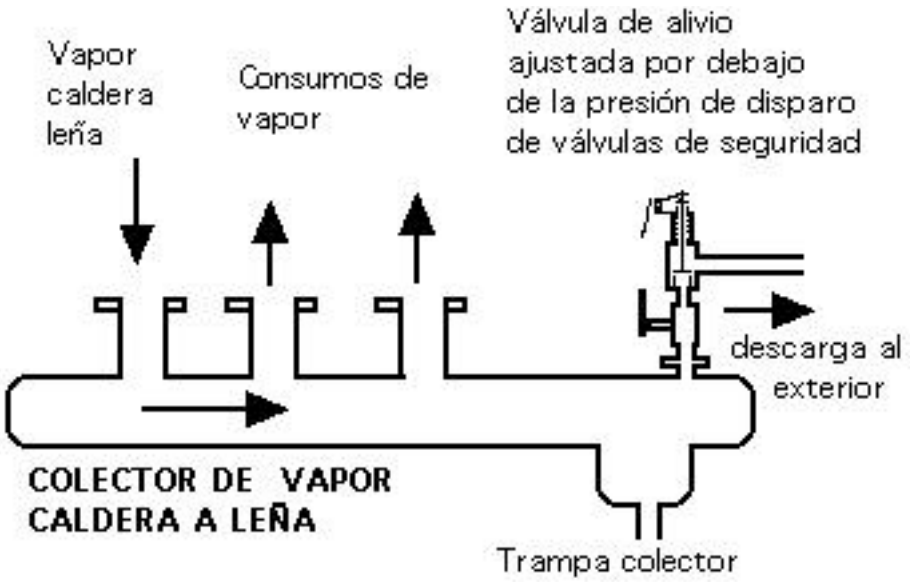
VALVULA ALIVIO

Observar la diferencia constructiva de esta válvula de alivio respecto a las válvulas de seguridad para caldera.

Veamos como instalar una válvula de alivio en el colector de vapor:

La descarga de la válvula de alivio, se conecta al exterior, en una zona libre de peligro, con la cañería bien afirmada y libre de "bolsas" de condensado, para evitar posibles golpes al descargar. La dimensión de esta válvula, está en relación a la capacidad de combustión de la caldera, conviene que no sea de una gran capacidad, ya de que se trata solamente de evitar que suba la presión progresivamente y abra las válvulas de seguridad (que si esto ocurre, se tirará una gran cantidad de vapor, innecesariamente, si existe esta válvula de alivio auxiliar y la presión no se alterará por baja presión). La válvula de corte, entre la válvula de alivio y el colector de vapor, nos permite cambiar la válvula de alivio o repararla (esta válvula de alivio puede ser de asiento de cromo-niquel, ya que su trabajo será de pequeñas aperturas, que tienden a desgastar las superficies de los asientos).

También se puede instalar más de una válvula de alivio, de manera de hacer un ajuste progresivo, de 2 escalones, para evitar de poner válvulas con gran asiento, que tiende a "rallarse".



2-Pérdidas provocadas por el manejo del numero de calderas

Si consideramos que las calderas tienen pérdidas térmicas como todo equipo térmico, veremos que la utilización de 2 caldera en vez de una, o de 3 en vez de 2, etc. , **las pérdidas serán mayores.**

Las calderas tienen pérdidas térmicas por el solo hecho de estar con presión de vapor (no importa que produzcan vapor para el servicio, es suficiente que estén a la presión de trabajo o sea, a la temperatura de vapor saturado).

Estas pérdidas térmicas, se producen por el salto térmico entre la caldera y el ambiente, pero además por las filtraciones de aire, aunque la caldera esté períodos apagada y períodos prendida para mantener la presión (hay siempre una depresión en el hogar debido al aire que se calienta al entrar en la caldera y se conduce por el tiro que se produce en la chimenea, lo que hace que se produzcan filtraciones).

Aún, si intentamos mantenerla "caliente" con vapor de otra caldera, **no solamente vamos a tener pérdidas térmicas, sino que es muy probable que si introducimos vapor de otra caldera** (en alguna forma) **se provoquen corrosiones en la caldera calentada** (no se debe hacer esta operación, cuando observamos la corrosión muchas veces es tarde, el vapor de por sí es corrosivo por el CO2 ó el O2 que pueda transportar, pero este vapor si se condensa en la caldera parada, se producen diferenciales químicos-físicos, que provocan corrosiones).

3-Pérdida provocadas por salas de calderas inadecuadas.

Si bien la sala de caldera debe ser lo suficientemente ventilada, tampoco es buen "negocio" tener una caldera en pleno invierno sometido al rigor de los vientos helados, se producirían las pérdidas por infinidad de "puentes térmicos", que muchas veces no es conveniente aislarlos totalmente, nos llevan a un aumento de las pérdidas, ya que el viento hará un enfriamiento directo más allá de lo conveniente. La aislación desmesurada o exagerada en zonas con refractarios, debe hacerse entre los refractarios y el material de metal que oficia de soporte, ya que si se intenta aislar la estructura metálica en la zona de refractario, la estructura tomará la temperatura interna, **más allá de lo que puede soportar, ocurriendo desde corrosión hasta la "quema" o debilitamiento de la estructura.**

Ejemplo: en una caldera humo-tubular, de fondo seco, la pared posterior del lado del fuego es de refractario, este está en un zona en donde termina la combustión (a veces no ha terminado), la temperatura de los gases por lo general es más de 900ºC, además está expuesto a la "vista" de la llama (hay calor radiante en forma directa, que se suma a la temperatura de los gases, por lo que el refractario tomará una temperatura superior a los 900ºC), entre este refractario y la "chapa" de contención, habrá que poner la aislación, primero un ladrillo aislante que soporte contra la parte de refractario el contacto de la temperatura de 900ºC, luego irá un material de lana mineral (y/o cartón de amianto, este último es cuestionado por cancerígeno) **. El contacto del ladrillo aislante y el metal, se puede aumentar su aislación, pero del lado de la atmósfera** (entre el metal y el ambiente de la sala de caldera) **no deberá ponerse ningún tipo de aislante, porque esto provocaría el recalentamiento del metal, ya que la pérdida de calor, aunque pequeña y en forma lenta, iría provocando el recalentamiento del metal al no poder enfriar el metal con el aire de la sala.** Aislar este fondo seco, desde el exterior, parece tentador hacerlo, pero seguro que "quemarán" el metal de la caldera, siempre debe haber una pérdida de calor, para que exista un gradiente, en el cual el metal estará un poco por encima de la temperatura ambiente. Por ello si queremos mejorar la aislación de esta zona, es conveniente utilizar otros métodos (fondo húmedo con pared de tubos, o más larga la caja de humos y con más ladrillo aislante después del refractario, etc).

Lo que queda claro, que el material refractario cumple una función de refracción (soporta la temperatura y el ataque químico de la combustión, de acuerdo a su composición, permite una "cierta aislación" en la que nos permite poner materiales aislantes, que si estos no estuvieran, las pérdidas serían enormes, el metal no lo

soportaría, etc.).

4-Pérdidas relacionadas con el agua de alimentación (agua de reposición)

El agua de alimentación juega un papel importante en la Eficiencia de la caldera (y la seguridad), evidentemente que el agua **cuanto más caliente más fácil será llegar a su temperatura de evaporación en el interior de la caldera** (hay calor agregado, tal es así cuando calculamos la Eficiencia Total de la caldera, el calor aportado por el agua de alimentación la descontamos del calor total del vapor, siendo la referencia inicial la temperatura de **0ºC**, tanto para el calor del vapor como del agua).

Cuanto menor sea su tenor de sales, menor será la necesidad de purgar para mantener los límites de salinidad (T.S.D. o sea Total de Sales Disueltas, Alcalinidad, Sílice, etc.). **Esto** (purgar) **significa perder** (si no se recupera el calor) **agua a la temperatura del vapor saturado** (presión de trabajo de la caldera, un calor que afecta la Eficiencia de la caldera en forma muy importante), **además de la propia agua** (que tiene un costo importante, fundamentalmente de tratamiento químico, ablandamiento más productos químicos).

Esto nos lleva a que siendo el condensado un agua "caliente y sin sales", será la mejor agua de alimentación de caldera. (Resolviendo adecuadamente los problemas de corrosión).

Como el condensado generalmente se pierde en buena parte, si la instalación no es adecuada, habrá que **reponer una parte del agua** (aún cuando haya una recuperación teórica del 100% del condensado, la necesidad de purgar la caldera por razones de seguridad, obligara a una cierta reposición del agua de caldera). **Generalmente la reposición dependerá de la calidad de esta agua, del tipo de planta y de la instalación** (o lo que han sido capaces los técnicos que la diseñaron para la recuperación de condensado).

El condensado no solamente se pierde por las pérdidas tan comunes (prensas de válvulas, platinas o roscas con pérdidas, prensas de bombas, etc.), sino que en algunos procesos se mezcla (**vapor directo**) con el producto a procesar (en este caso la Eficiencia del sistema, por el condensado caliente, no baja debido a que el calor se aprovecha totalmente, pero **baja al perder agua libre de sales**), en otras por ser **"peligroso" el condensado por provenir de intercambiadores que pueden contaminar gravemente** el agua de caldera, se tira, **pero además, el condensado se pierde aún cuando se recupera por lo que se da en llamar vapor de "flash"** (salvo que se prevea su recuperación)**.**

El vapor de "flash" se produce debido que el agua sale de

las trampas de vapor a la temperatura del vapor saturado o un poco menos (depende del tipo de trampa e instalación o proceso), y este al entrar **en contacto con una presión menor**, **se reevaporiza** (evapora hasta la presión de equilibrio, tomando el calor del agua sobrecalentada, a la nueva presión de saturación, con el ambiente en que se encuentra, generalmente próximo a la presión atmosférica), **si este vapor escapa a la atmósfera, será calor perdido sin recuperar y con ello el agua del mismo**.

O sea, el **vapor de "flash"** tiene una **doble pérdida**, **el calor que lleva consigo y el agua** (condensado en forma de vapor o sea, agua pura).

TABLA DE VAPOR SATURADO

presión	temperatura	calor total	calor agua	calorvapor
ATA	Cº	Kcal/Kg .	Kcal/Kg .	Kcal/Kg .
0.05	32.55	611.3	32.55	578.9
0.20	59.67	623.1	59.61	563.5
0.50	80.86	631.6	80.81	550.8
1.00	99.09	638.5	99.12	539.4
2	119.62	645.8	119.87	525.9
3	132.88	650.3	133.40	516.9
4	142.92	653.4	143.60	509.8
5	151.11	655.8	152.10	503.7
6	158.08	657.8	159.30	498.5
7	164.17	659.4	165.60	493.8
8	169.61	660.8	171.30	489.5
9	174.53	662.0	176.40	485.6
10	179.04	663.0	181.20	481.8
11	183.20	663.9	185.60	478.3
15	197.36	666.6	200.60	466.0
20	211.38	668.5	215.8	452.7

En la tabla de vapor saturado anterior, hemos marcado la presión atmosférica ó **O Kg/cm2 manométrica** o **absoluta 1,033 Kg/cm2** (**tomándola como 1 Kg/cm2 como presión absoluta o ATA**) . Y una presión de **2 Kg/cm2** manométrica o relativa (**3 Kg/cm2 ATA**) para el caso de un sistema de una **recuperación de vapor de**

"flash" en un balón de recuperación (el agua sobrecalentada es descargada a un balón de 2 Kg/cm2 manométrica, para que se produzca un vapor de "flash" que se pueda utilizar como vapor de baja) y hemos marcado la presión **manométrica de 10 Kg/cm2**, valor promedio de marcha de muchas calderas en plaza. Veamos que podemos hacer con este vapor o calor de "flash" o agua sobrecalentada, para la recuperación de su calor.

Cálculo del vapor de "flash":

En la tabla anterior, hemos puesto como ejemplo una presión de vapor de caldera : **de 10 Kg/cm2** (11 ATA ó 11 Kg/cm2 absolutos, tomando **la atmósfera como valor práctico igual a 1 Kg/cm2 ATA** , a los efectos del cálculo), la presión de vapor relativa, como en la tabla está en **ATA** (atmosfera técnica absoluta), o sea presión absoluta en **atmósfera técnica absoluta**, que es lo mismo que decir en Kg/cm2 absolutos, para entrar **en la tabla hay que sumar una atmósfera a la presión relativa o manométrica** (que es la presión que por lo general indican los manómetros o "gauge" en inglés).

En esta presión de 10 Kg/cm2, el vapor saldrá como agua condensada en una trampa (que trabaje con el serpentín con una trampa que desaloje todo el condensado apenas se forma y con la presión constante de 10 Kg/cm2 manométrico), el agua condensada saldrá **una temperatura de 183ºC, lo que nos dice que tiene un calor con referencia a 0ºC de 185 Kcal/Kg, cuando el vapor tiene 664 Kcal/Kg de calor total** (esto dá un calor aprovechable de 664-185 = 479 Kcal/Kg. calor latente del vapor) esta agua con 185 Kcal./Kg. al entrar en el sistema de condensado baja a una presión casi igual a la atmosférica, por lo cual **su temperatura bajará a 100ºC, dicha temperatura bajará por la reevaporación del agua al nuevo estado de equilibrio, esto es el vapor de "flash"** (el agua a 1 atmósfera, 100ºC, prácticamente tiene 100 Kcal/Kg., esto significa que se reevapora tomando la siguiente cantidad de calor 185 - 100 = **85 Kcal/Kg.**).

Estas **85 Kcal/Kg. se pierden como vapor a la atmósfera o se recupera de varias maneras** (si calculamos esta pérdida, suponiendo que recuperamos el condensado de 183ºC , **el % de pérdida sobre el vapor será** : **85/479 x 100 =17,7 %** (en combustible que se pierde sino se recupera de alguna forma, unos 85/9700/0,85= 0,010 Kg F. Oíl/Kg de vapor). Además si consideramos que también perdemos el agua que se reevapora : **85 / 540 = 0,157 Kg. de agua**, o sea 0,157 / 1 x 100 = **15,7% del agua perdida por el "flash".**

Por lo que la recuperación ideal, será recuperar el agua y el vapor de "flash", el 100%.

a- En la práctica esto se puede hacer **con un sistema auxiliar que enfrie el agua del tanque de alimentación** (siempre y cuando

haya una consumo de calor cuyo diferencial pueda ser aprovechado, como el calentamiento de agua fría, aire, etc. **o que haya una reposición de agua fría que debamos calentar a 100ºC** para alimentación de caldera) **, haciendo barbotar el vapor de "flash", para que al mezclarse con el agua del tanque de alimentación, se condense, recuperando el calor y el agua.** Ver más adelante un croquis.

b-También se podría canalizar todo el flujo de condensado presurizado, a un **intercambidador de tubos o placas, que caliente un fluido por debajo de los 70ºC aprox.** En este caso podemos aprovechar el 100% del calor y el agua).

c- O podremos aprovechar parte de este vapor de "flash", reevaporando a una presión de vapor menor a la de la salida del condensado, utilizando este vapor de baja en usos donde el vapor sea requerido y la presión sea adecuada (en este caso, cuanto más baja sea la presión, mayor será la recuperación del vapor de "flash", pero no olvidar que debemos tener una presión para su utilización). **Pero, como veremos, no hay una recuperación del 100%.**

El ejemplo que hemos puesto, es "flashear" a una presión manométrica de 2 Kg/cm2, es este caso tendremos que la temperatura pasará de 183ºC a 132ºC, y el calor de vapor de "flash" que recuperaremos será 185 - 133 = **52 Kcal/Kg**. contra **85 kcal/Kg**. que se perdían o sea que en este caso la recuperación será :

52/(478+185) x100 = **7,8% cuando si se recupera el 100% del "flash" total era del 12,8%** (no estamos considerando el agua, solo el calor del "flash").

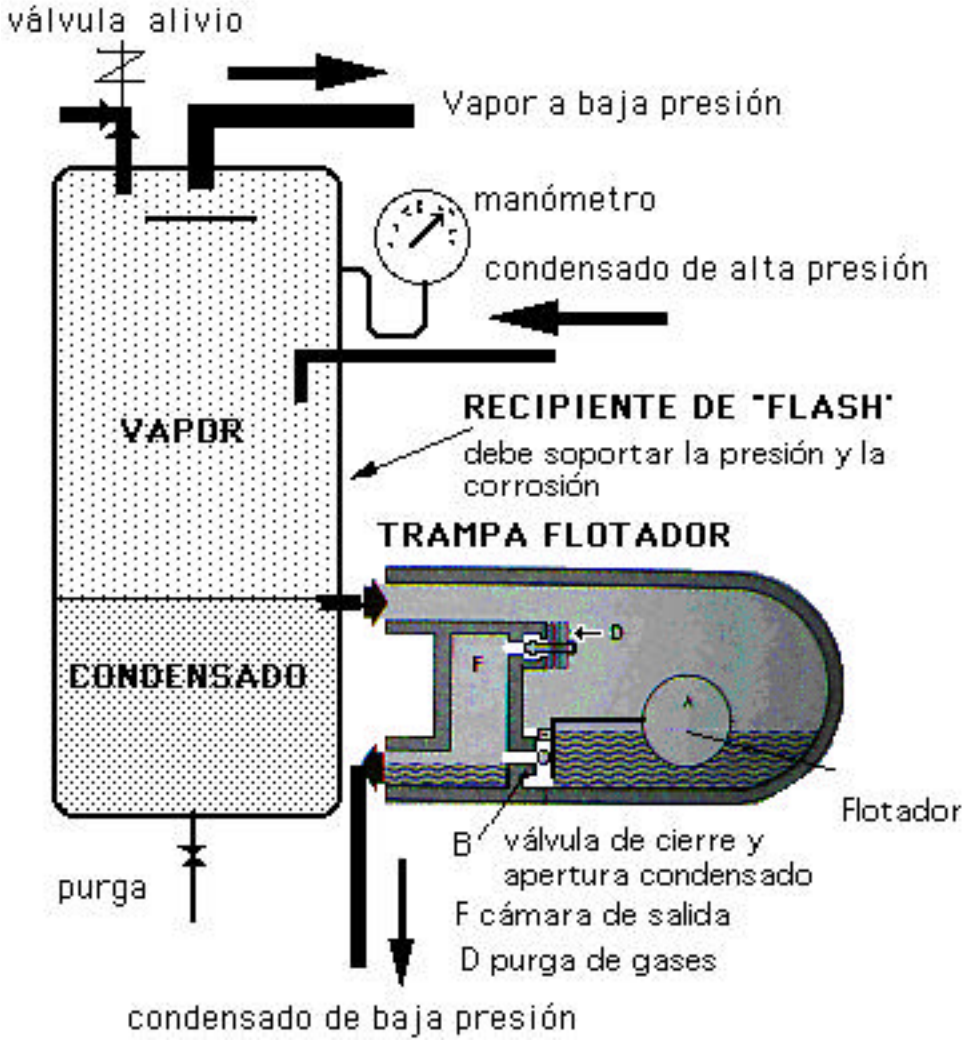
En este caso **no recuperamos el 12,8% - 7,8% = 5% que se pierde todavía como vapor de "flash", además a su vez este vapor de "flash" de 2 Kg./cm2 tendrá una pérdida de vapor de "flash"** (133 - 100 = 33 Kcal/ Kg) .

Por lo que este sistema resulta atractivo solamente para recuperación de vapor de "flash" cuando la presión de trabajo es alta y se necesita vapor de baja. **Queda pendiente la recuperación de parte del agua.**

En la figura inferior: hemos hecho el croquis de un balón recuperador de "flash". La dimensión y la separación entre el agua y el vapor, es importante (evitando el arrastre con una diafragma separador en la salida del vapor). Además, se debe considerar que este equipo por una falla del sistema puede llegar a quedar con la presión de la caldera, por lo que debe de tener un buena válvula de alivio, que limite su presión de trabajo. Se debe considerar, que por tener condensados y gases corrosivos, el espesor del material de su construcción debe ser

previsto un espesor para corrosión y un factor de seguridad por sobre presión (aconsejándose hacer una prueba hidráulica con 11/2 la misma presión del sistema en alta). La trampa ideal es la de flotador, dejando un espejo de agua para mantener el equilibrio interno del vapor saturado. Luego haciendo control de espesores en la parte baja, especialmente en la fluctuación del nivel de agua, cada tantos años de uso.

TANQUE DE RECUPERACION DE VAPOR DE FLASH



En general:

Para tener el máximo de EFICIENCIA en el aprovechamiento del calor:

1-debemos de reducir las purgas al mínimo y recuperar

su calor. Pero las purgas deben bien estudiadas, ya que la falta de purga puede ser un factor desencadenante hasta de una "tragedia" o tan simple como bajar la calidad del vapor para un determinado proceso.

2-Recuperar el máximo de condensado de retorno, buscando para ello el aprovechamiento de todo intercambio que recupere el condensado y si se produce vapor de "flash", tratar el de recuperar el vapor de "flash" en usos en que se pueda aprovechar su calor y su agua destilada.

La purga más eficiente en recuperar el calor son las **purgas "continuas"** (que generalmente lo que hacen es sacar las sales en exceso del interior de la caldera, cualquiera sean éstas, las que aumentan la salinidad de la caldera, el PH, la sílice, etc.).

Las purgas de fondo y de nivel son imprescindibles en una caldera, ya que las purgas de fondo sacan sales, pero su **función principal es sacar los barros** de la parte inferior de la caldera. Las **purgas de nivel**, si bien **sacan sales y barros** del interior de los niveles, su función principal es también **comprobar que el quemador apaga por bajo nivel**.

Tanto la purga de fondo como de nivel, por ser alternativas e instantáneas, dificultan la recuperación del calor y el vapor de "flash" del agua caliente que se saca de la caldera. Además las purgas de fondo, si bien parecen sacar grandes cantidades de agua, no es tan así. Ejemplo , si purgamos unos 20 mm. de altura de nivel, el volumen de agua de una caldera de 5.000 Kg./hora de vapor es aproximado a 16 x 35 x 0,2 = **112 Ltrs. de agua de caldera por purga** (esta cantidad muchas veces es totalmente insuficiente si hay que sacar mucha agua para purgar las sales) **y además, en general es difícil purgar de fondo si la caldera no tiene momentos adecuado para ello** (la caldera deberá estar con el quemador apagado ó en una condición de combustión mínima, para no alterar la circulación interna y provocar un recalentamiento local, **la purga continua no tiene este problema**).

Las purgas de nivel, necesarias y reglamentarias, por lo general no tiran más de 20-40 Ltrs. por purga. Casi que no se podría considerar esta cantidad, ya que es necesario purgar no menos de una vez por turno (lo correcto sería cada 4 horas), **pero una caldera en marcha al purgar los niveles se apaga, alterando la presión de trabajo al apagarse la caldera, y esto puede afectar el proceso, por lo que no se hacen estas purgas más que lo necesario.** En algunas

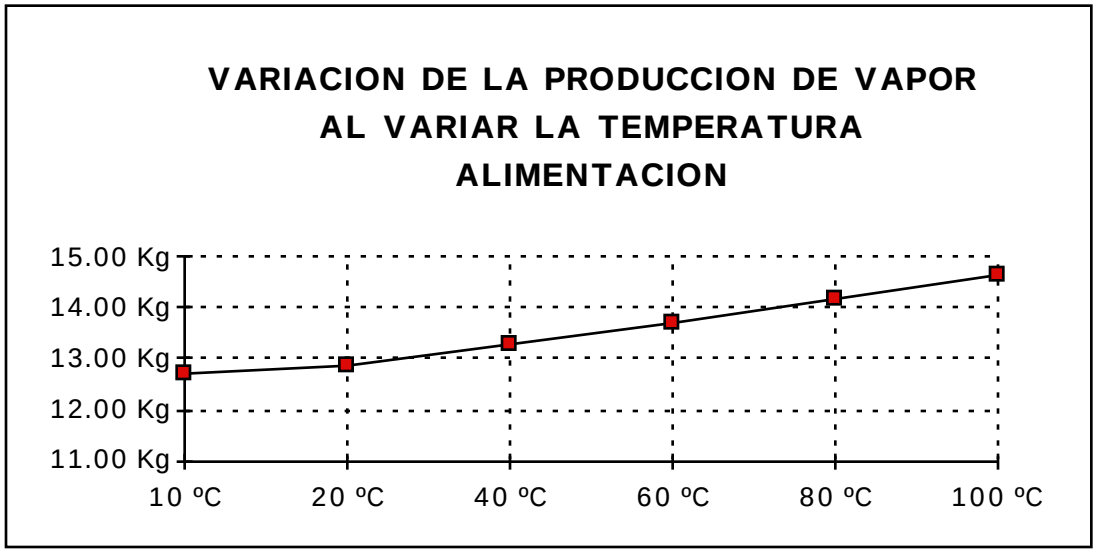
circunstancias, frente a este grave problema, se puede poner una "botonera" que elimine la acción de apagado del quemador (sin eliminar todos los elementos que indican la falta de nivel, alarma sonora y lumínica) pero esta "botonera" solamente podrá accionar mientras alguien la tiene "apretada" , de manera que **bajo ninguna circunstancia pueda quedar eliminando el control de nivel su acción de corte del quemador frente a un bajo nivel de agua real**.

3-Trabajar con el máximo de temperatura en el tanque de alimentación de agua, esto tiene varios beneficios.

Si el agua fría de reposición no se calienta, todo el oxígeno que trae el agua, será alimentado a la caldera, con el consiguiente perjuicio que este oxígeno ocasiona, como la corrosión o la **aceleración** de la corrosión por CO2 (anhídrido carbónico, el oxígeno acelera su efecto corrosivo) **o de lo contrario un gran consumo de productos secuestrantes de oxígeno.** (al alimentar próximo a los 100ºC, el aire que trae el agua se expulsa casi en un 90%). **Pero hay otro beneficio operativo,** la caldera tiene **más rápida respuesta a los cambios de consumo**, ya que al aumentar el consumo en forma rápida, al alimentar el agua con un calor próximo al 20% del necesario para su vaporización, **se logra más rápidamente la respuesta** de la caldera al cambio.

Esto también "agranda" la caldera en su capacidad de producción o sea, que produce más vapor con el mismo combustible (siempre que el calor del agua salga de recuperaciones de calor, tanto del condensado, vapor de "flash" o recuperadores de los gases de chimenea:economizadores).

Pero, si este calor proviene de recuperaciones y no de inyecciones de vapor (o serpentín), **se logra una mayor economía en la producción de vapor** (o Eficiencia de generación, que no es lo mismo que decir una mejor Eficiencia Total en la caldera, pero sí en la generación, ya que aumentan los Kg. de vapor generados por Kg. de combustible). Es decir que por cada Kg. de F. Oíl para una determinada capacidad de marcha de la caldera, se produce una **mayor cantidad de vapor.** Veamos una gráfica al respecto, en el cual se indica la **variación de los Kg. de vapor por Kg. de F.Oíl** (en una caldera con exceso de aire normal, vapor a 10 Kg/cm2, con capacidad aprox. del 80% de su marcha) **al variar la temperatura del agua de alimentación**.



El calentar el agua de alimentación con la recuperación de condensados y vapor de "flash", es un ahorro muy importante de combustible, pero además de disponer los medios para provocar esta recuperación, debemos de tener el sistema de alimentación de agua a la caldera, adecuado para alimentar a 100ºC, evitando la cavitación de las bombas de alimentación.

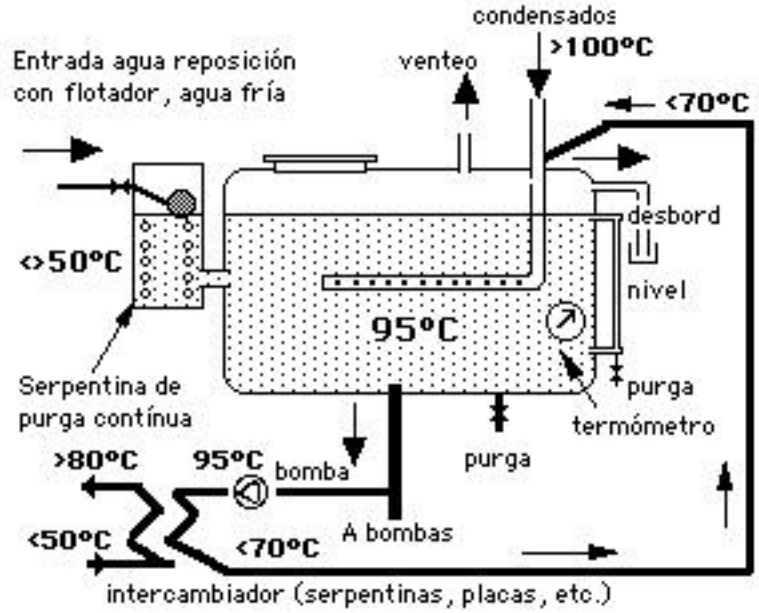
Las bombas deben ser adecuadas para el uso con agua caliente (100ºC), los tanques de alimentación deben tener suficiente altura para evitar la cavitación (unos **5 m.** sobre la posición de las bombas), **además toda la cañería de succión de las bombas deben ser "trazadas" y confeccionadas adecuadamente, para evitar toda pérdida de carga que pueda provocar una cavitación** (esto significa un buen diámetro de cañería, curvas en vez de codos, filtros generosos, válvula de pase total y baja pérdida de carga, toma sobre el tanque con cono de entrada, etc.)**.**

La recuperación del "flash" del condensado y la recuperación del calor de la purga continua, se puede hacer de varias maneras, hay una manera muy simple, que voy ha describir:

Para intercambiar el calor de la purga continua se necesita **un salto térmico lo mayor posible** (es decir, que quien reciba el calor), sea un fluido de baja temperatura, como ser **el agua de reposición**. Para ello diseñaremos **un tanque con doble sección**, un agua de reposición fría para el intercambio de la purga continua (que luego pasa al tanque de mezcla con el condensado y que además se puede calefaccionar o enfriar para recibir el vapor de "flash").

Para la recuperación del vapor de "flash" en forma sencilla, necesitaremos que el fluido, la misma agua de alimentación **esté por**

debajo de los 100ºC (temperatura de ebullición del agua en contacto con la atmósfera), para ello puede ser suficiente la mezcla del agua de reposición en una zona del tanque de alimentación en donde se mezclan los condensados de retorno y el agua de reposición, **pero si el agua de mezcla, ya está llegando a los 100ºC, tenemos dos opciones, o dejar que el exceso de vapor de "flash" se ventee a la atmósfera** (se pierde calor y agua) **o tratar de enfriar esta agua de alimentación por medio de circuito que caliente un fluido cuya temperatura esté por debajo, aprovechando este calor** (como ser agua caliente para proceso, baños, calefacción, aire, etc.), **utilizando una bomba de circulación que tome del tanque de alimentación, envíe el agua caliente, que intercambia en donde sea necesario y vuelve al tanque de agua caliente. Veamos un croquis:**



Descripción del funcionamiento:

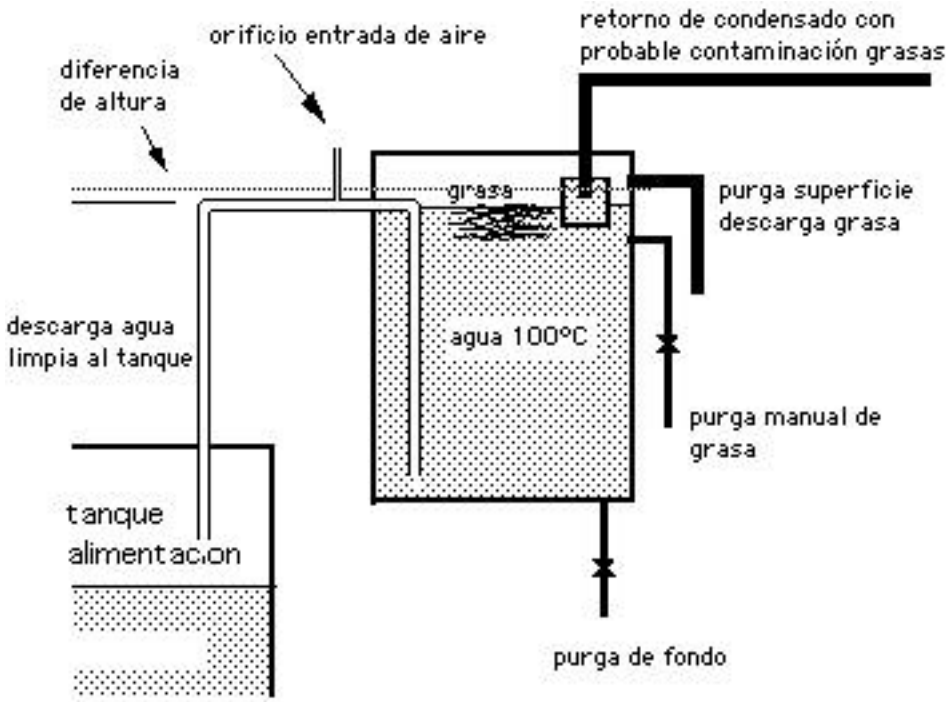
El agua fría de reposición **entra** a un relativamente pequeño tanque separado del tanque de alimentación con suficiente reserva, en **forma modulada por un flotador** (u otra válvula, pero que **module**, para que siempre haya agua relativamente más fría entrando permanentemente), en este tanque auxiliar está un serpentÍn de intercambio de la purga continua, que estará en relación a la cantidad de purga horaria. El agua por vaso comunicante entra al tanque principal y de reserva, en donde **los condensados "barbotan" por debajo del nivel del agua** (los condensados con sobre-temperatura o vapor de "flash", se enfrían o condensa el vapor en esta agua supuestamente por debajo de los 100ºC, si la temperatura del tanque es muy alta > 100ºC, el vapor sobrante escapa a la atmósfera). **En el caso que el vapor de "flash"**

fuera excesivo (puede ser de momento al haber trampas en mal estado o mal elegidas), **para recuperar este exceso de "flash", podemos enfriar el agua del tanque de reserva, por medio de una bomba de circulación con un intercambiador** (de serpentina, placas, etc. pero que no se contamine con el otro fluido), **que calienta un fluido de menor temperatura** (agua caliente para servicio o proceso, calefacción, aire caliente, etc.), **esta agua relativamente más fría, la mezclamos en el caño de entrada de condensados calientes** (este caño de condensados calientes, convendrá que sea de acero inoxidable).

Sin embargo, la purga continua con un simple intercambiador se puede utilizar para calentar el agua de alimentación u otro servicio en donde se utilice calor y el diferencial de temperatura lo permita (aunque aquí, la instalación será de mayor costo, ya que involucra otros elementos de manejo y control, además, debiendo tener cuidado que la purga continua de la caldera, al ser regulada a la salida, su presión y temperatura será la de la caldera).

Otra ventaja al sistema anterior (tanque separado)**, puede ser :** "tirar" la purga continua ya fría (menos de 60ºC) en un embudo de observación, lo que permite un control sobre la misma (la medida con un "jarro"), de manera de saber los litros que estamos tirando por minuto, lo cual mejora el control del foguista y de los supervisores, **ya que la purga continua en la mayoría de los casos es de fundamental importancia** (reposición de aguas de pozos, baja recuperación de condensados, etc.).

Cuando se deba recuperar condensados con probables contaminación con grasas (caso de chacinerías, mataderos, frigoríficos, etc.) **en donde hay gran riesgo de introducir grasa en la caldera, se debe hacer un sistema de separación de la grasa** (más liviana y todavía líquida al estar a 100ºC). Un ejemplo lo damos en el croquis siguiente:



RECUPERACION DE CONDENSADO (CHACINERIAS)

El sistema superior, la grasa líquida, "flota" sobre el condensado caliente a 100ºC, el agua limpia sale por la parte inferior, de manera que la grasa "liquida" se va acumulando hasta llegar al nivel de descarga (por ello la diferencia de altura entre el caño de salida de agua limpia y la salida de grasa, debe ser muy pequeña, además debe haber un orificio que evita el cebado del caño de agua limpia, para evitar el vaciado del tanque y el arrastre de la grasa por abajo).

Cuando el condensado esté sumamente contaminado, lo que se puede hacer, es intercambiar el calor del condensado con el agua fría de reposición (sin entrar en contacto directo) **de manera de no perder el calor, quedando como pérdida el valor del agua como agua si fuera pura.** Para ello usar el mismo principio que hemos puesto en el croquis de recuperación de la purga continua, es decir, una zona de agua fría de reposición para intercambiar mejor con el agua caliente del condensado. Si ya en el tanque de alimentación, sobra calor para mantenerlo próximo a los 100ºC, debemos de buscar la forma de utilizar el intercambio del condensado contaminado para calentar otros usos (agua caliente para baños, lavados, etc.).

Los calentadores de combustibles (F. Oíl u otros), es conveniente no recuperar el agua de condensado, es muy peligroso para la caldera y muy difícil de limpiar la caldera contaminada.

INFLUENCIA DEL % DE PURGA EN LA EFICIENCIA.

Como dijimos, el **% de purga sobre el agua de reposición** en una caldera, lo define la **calidad del agua de reposición**, **la presión y tipo de caldera, la calidad necesaria del vapor.**

Debemos de aclarar, que **el % de purga sobre el agua de reposición, se puede definir como el inverso de los ciclos de concentración** (a medida que el agua se concentra en la caldera, al evaporarse , dejando las sales en el agua de la caldera, llamamos ciclos de concentración (c.c.) : las veces que el agua concentra el valor de las sales del agua de reposición) . Así podemos definir a :

% purga = 1/c.c. x 100 (sobre agua de reposición)

Una vez establecido los parámetros de los límites químicos en una determinada caldera (presión, tipo de caldera y calidad del vapor), **el % de purga se define en relación a la calidad del agua de reposición. Veamos estos parámetros límites.**

1-El máximo de Total de Sales Disueltas (T.S.D. **ya fijado** para dicha caldera, por la presión, tipo de caldera, calidad del vapor), se **fijará un % de purga que estará en relación al T.S.D. del agua de reposición** (**más los productos químicos necesarios para su tratamiento**, por lo que a menor cantidad de sales en el agua de reposición, menor será el % de purga) **y la incidencia en la cantidad agua a "tirar" estará al % del agua de reposición necesario** (es decir, que cuanto mayor sea el condensado de retorno, menor será la cantidad de agua a purgar, dado que se necesitará reponer menor cantidad de agua).

Purga caldera hora x (T.S.D. cald)= Agua Rep. hora x (T.S.D. rep.)

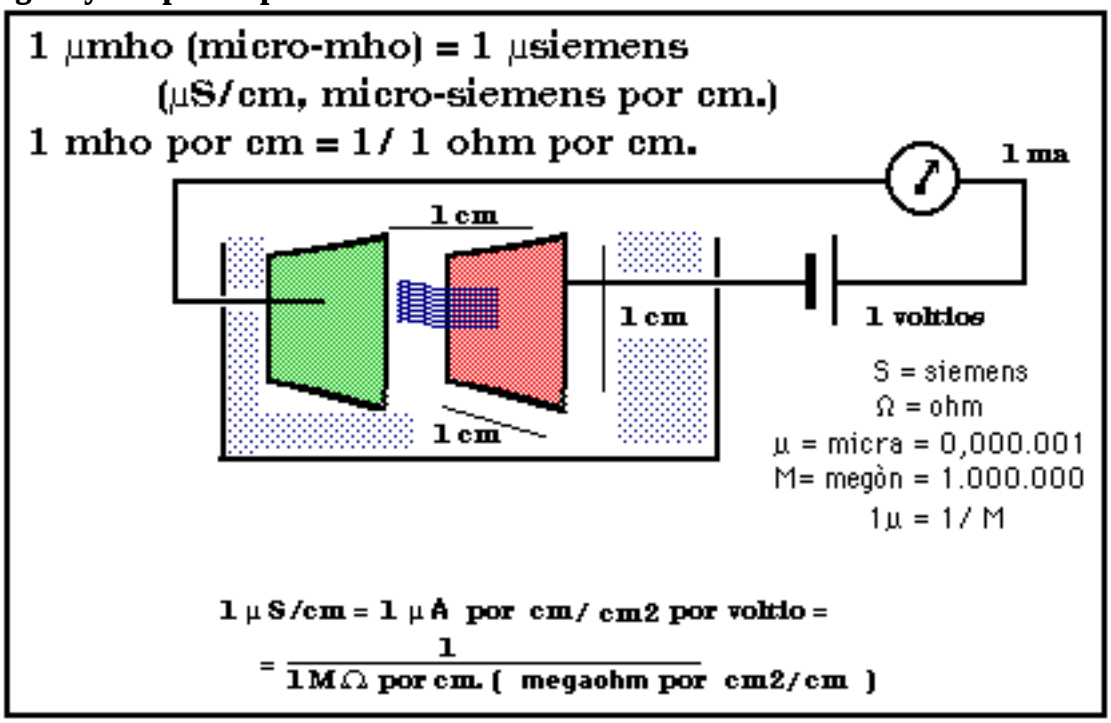
Se debe dejar en claro que el condensado de retorno no aporta salinidad, por ello no está comprendido en la ecuación matemática, por lo que el agua de reposición, es lo que indica la palabra, el agua a reponer en el sistema de caldera junto con el condensado de retorno.

Una forma de controlar la salinidad (T.S.D. o Total de Sales Disueltas), **es control de la conductividad del agua** y en el agua de caldera se establece que 4.500 µsiemens (conductividad) = 3.000 ppm (partes por millón, casi lo mismo que decir gramos por m3. de agua, miligramos por litro), o sea que una medida de conductividad se corresponde una cantidad determinada promedio de sales expresadas en ppm. **Esto nos permite controlar el máximo de ciclos** (de una manera sencilla) **de concentración establecido como T.S.D..** Se dá además, que si la "soda libre" aumenta, aunque no aumente la

salinidad total del agua, **la conductividad aumenta** (si la quisiéramos corregir la lectura a ppm más reales, deberíamos bajar el PH con un ácido orgánico, como el pirogálico, que no aumenta la conductividad y baja el PH, permitiendo establecer los ppm reales de T.S.D., pero si no lo corregimos y nos guiamos por el equivalente de ppm, **purgaríamos la caldera porque rebasaría el límite establecido de ppm y esto nos protegería de la formación de espumas, arrastres o problemas internos de circulación provocados por la soda libre** (las ppm no serían reales, pero en realidad es la conductividad más importante que la propia salinidad en el control del agua de caldera).

Estos conductivímetros, elementos que ahora son totalmente electrónicos (aunque todavía se usan galvanómetros), con display digitales, son económicos y nos permiten controlar las ppm (ó la conductividad), **no purgando innecesariamente ni faltando la purga necesaria.**

Veamos las relaciones de la medida de conductividad en el agua y su principio en forma visual:

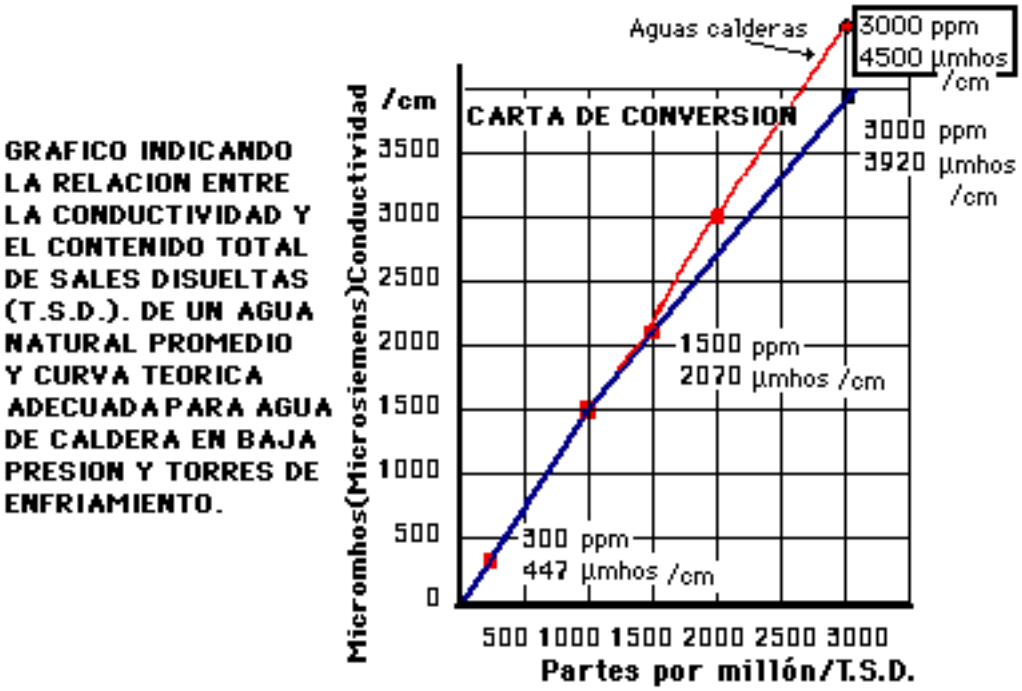

1 µmho (micro-mho) = 1 µsiemens
(µS/cm, micro-siemens por cm.)
1 mho por cm = 1/ 1 ohm por cm.
1 ma
1 cm
1 cm
1 cm
1 voltios
S = siemens
Ω = ohm
µ = micra = 0,000.001
M= megòn = 1.000.000
1µ = 1/ M
1 µ S/cm = 1 µ A por cm/ cm2 por voltio =
= 1 / 1MΩ por cm. (megaohm por cm2/cm)

Los electrodos (de metal no alterable) sumergidos en la muestra, son sometidos a corrientes alternas de relativa alta frecuencia, pera evitar que los mismos se polaricen (si pasara corriente continua, uno de los electrodos se cubriría con gases, que harían una lectura errónea) , además de los electrodos, tienen un sensor de temperatura, ya que la conductividad del agua varía con la temperatura (hay que corregir la lectura a un valor standard, como ser 25ºC).

Por ejemplo: fijado un límite máximo de **T.S.D**. en **3.000**

ppm, (una caldera humo-tubular, trabajando a 10 Kg/cm2, con vapor saturado para uso de calefacción de proceso) si el agua de reposición tiene **200 ppm de T.S.D**. y el **tratamiento con sales es de 100 ppm** (fosfatos, sulfitos, no en el caso de volátiles como la hidracina, no aconsejable en procesos con contacto humano, se considera cancerígena), tendríamos que fijar el **límite del T.S.D.** en 3.000/(200+100)=**10 ciclos de concentración** (c.c.) o se 1/10 x100 = **10 % de purga sobre agua de reposición aprox**. (hay sales que en el interior de la caldera se descomponen, como los bicarbonatos, dando un valor un poco diferente, pero en la aproximación es suficiente).

La medida (control) **de este límite, se podrá hacer con un salinómetro o conductivímetro, es muy importante mantenerse en el límite del T.S.D. , ya que un exceso de purga, significa una pérdida de calor , de agua y productos químicos innecesariamente. Pero la falta de purga, puede ser fatal, ya que la caldera no solamente se provocan espumas, sino que puede afectar su circulación interna y llegar hasta colapsar** (caso humo-tubular)**.**



Puede hacerse el control manual del T.S.D. o con un sistema automático de regulación continua.

2- El límite de la Alcalinidad Total, puede también ser el limitante al % de purga, ya que si el agua de reposición tiene una Alcalinidad Total elevada, al fijar el límite de Alcalinidad Total en

la caldera, puede que el % de purga sea mayor que el fijado por el T.S.D.. Este límite tiene muchísima importancia, ya que no solo fija la calidad del vapor, sino que interviene en los problemas de corrosión interna de la caldera, la formación de espumas o el colapso del hogar o quemado de tubos en una caldera acuo-tubular.

En el ejemplo anterior, la Alcalinidad Total se puede fijar en **900 ppm como Carbonato de Calcio** (CO3Ca), y si en el agua de reposición por ser de pozo tiene una Alcalinidad Total de 150 ppm (que **al ser ablandada** el agua **toda esta alcalinidad pasa a ser sales de sodio**, que elevan el PH de la caldera por sobre el límite aconsejado, en este caso podría ser PH 11,5 como máximo), **si calculamos los c.c., aún utilizando productos químicos que no elevan esta alcalinidad, a grosso modo, podemos establecer los c.c.:**

900 / 150 = 6 c.c.

Es decir que si hoy teníamos 10 c.c. o 10% de purga, ahora tendremos que bajar a 6 c.c. o se 1/6 x100= 16,7 % de purga.

Por lo que el T.S.D. ya no será 3.000 ppm, sino :

(200 + 100) x 6 c.c. = 1.800 ppm

O sea, que habrá que mantener el T.S.D. por debajo de 1.800 ppm, lo cual nos implica una mayor pérdida por purgas.

Por lo general las aguas de pozos es común encontrar aguas con Alcalinidad Total por sobre las 450 ppm, esto significa que para trabajar con estas aguas, sin correr riesgos, las purgas deben de desalojar más del 30% del agua de reposición.

Aquí, la solución es buscar el **máximo retorno de condensado**, para **disminuir la reposición de esta agua de pozo**, la **utilización de productos químicos de tendencias a absorber este exceso de alcalinidad**, pero cuidando que dichos productos no sean corrosivos para la calderas y su sistema de alimentación.

La utilización de **ósmosis inversa** (forzar a presión el agua con alta salinidad, sobre un membrana orgánica, que en dichas altas presiones, deja pasar el agua con un tenor menor de sales, circulando el agua más concentrada a una purga, **repitiendo las etapas**, se logra bajar el tenor de sales a valores muy bajos), parece ser un logro adecuado para esta calidad de agua, pero todavía se está en una etapa de costos de implementación y servicio, que por lo general es todavía alto.

La otra alternativa, **la desmineralización por intercambio iónico** (por medio de resinas aniónicas y catiónicas), es rentable en donde por razones operativas (altas presiones, vapor para turbinas de vapor, etc.), e**n plantas de baja presión por lo general no es rentable**.

La combinación de los dos últimos sistemas (ósmosis inversa e intercambio iónico), parece mejorar la rentabilidad en plantas de cierta envergadura.

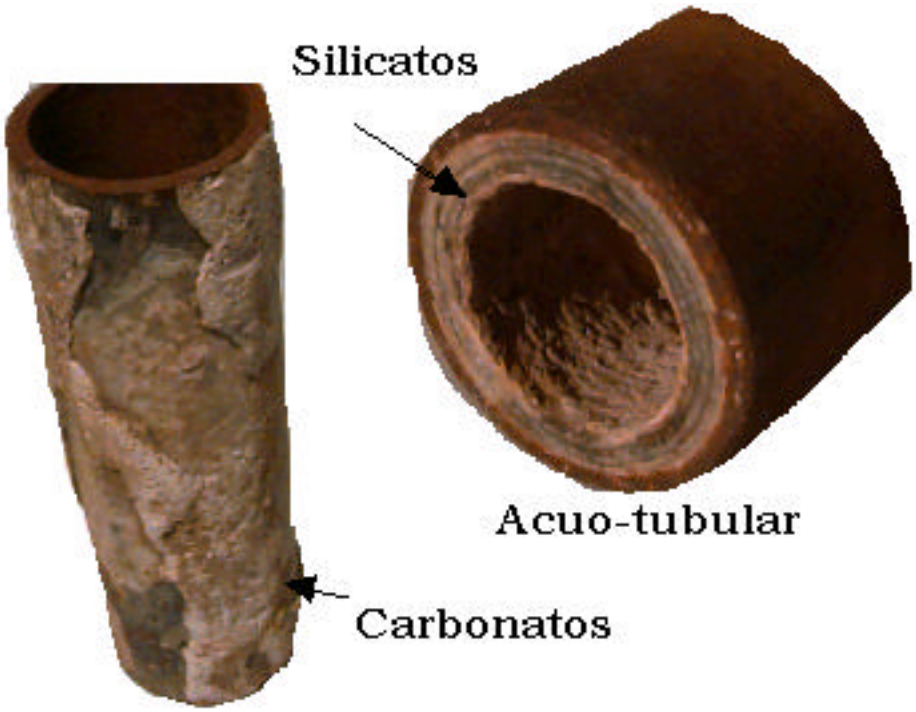
Se pueden hacer **plantas de precipitación química**, su costo de implementación y operación es alto, algo complicado el manejo, su resultado debe ser corregido por intercambio iónico para lograr valores de muy baja salinidad para media y alta presión. **Aquí volvemos que la recuperación de condensado es de importancia vital.**

3-La sílice será también un problema a considerar.

Su máximo está acondicionado por los parámetros anteriores (presión, tipo de caldera y calidad del vapor).

Las aguas de pozos, por lo general tienen más sílice (SiO_2), **que las agua de superficies, su extracción del agua es dificultosa** (por lo general obliga a un intercambio iónico de desmineralización, que tiene un costo importante de instalación y operación, o un sistema químico de precipitación, aún más complicado). **El problema de estas aguas se agudiza con las calderas de mayor presión, ya que la sílice llegado a un límite, empieza a vaporizar y se deposita en aquellas máquinas de vapor como las turbinas** (generando graves inconvenientes).

En baja presión, el problema es que la sílice puede incrustar la caldera si los c.c. no son respectados. Por lo general, en baja, al utilizar agua de pozo, solamente ablandada, no se llega a los límites problema (dado que los c.c. de la Alcalinidad son menores) **. Pero, si el agua es desmineralizada, en estos casos se trabaja con muchos c.c., pero, dado que la resina aniónica es por lo general la primera en tener problemas** (fouling o mala regeneración si se hace con la soda fría), siendo esta resina la que intercambia la sílice, ocurre que **el primer elemento que se "escapa" es la sílice y esta no es detectada por conductividad, y al estar muy ciclada la caldera, se puede formar una incrustación casi imposible o imposible de sacar por medio químicos o mecánicos.**



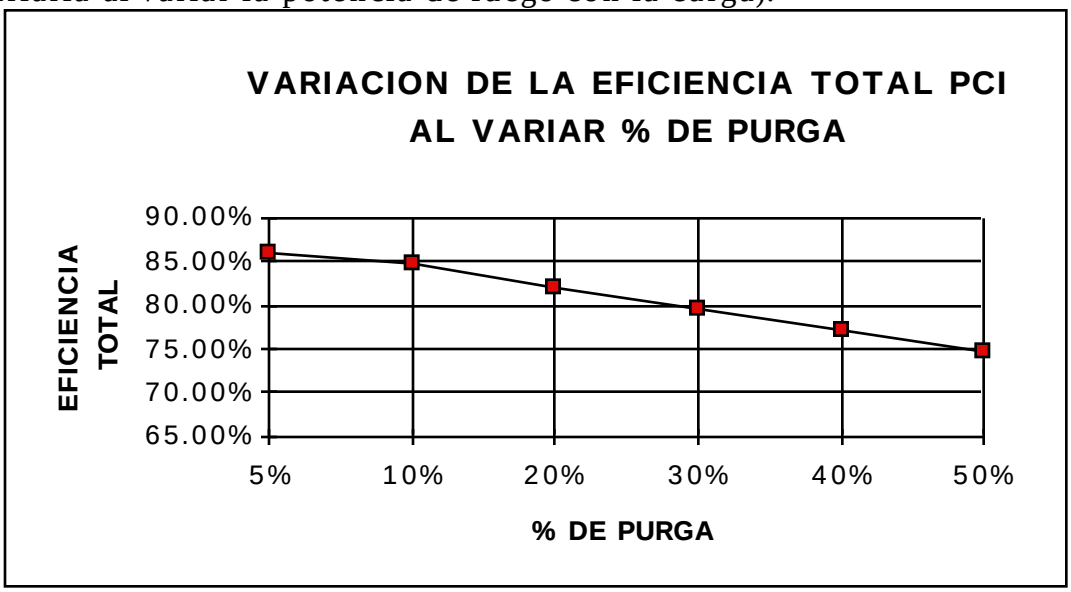
La incrustación con sílice, sumamente dura y aislante, es muy dificultosa su extracción, por lo que es un elemento muy importante a considerar.

A veces, algunas aguas de recuperación en algunos tipos de industria, los condensados de recuperación y las aguas de **evaporación de los propios productos** (concentración de leche, azucares, etc.), si bien tienen casi nula presencia de sales conductoras, pueden provocar incrustaciones de silicatos, muy difíciles de extraer (no olvidar que cuando se trabaja con aguas de muy baja salinidad, lo ciclos concentración se disparan, llegando muy alto valores, lo que provoca que aún con pequeñas cantidades de sílice, una acumulación en la caldera, que termina provocando su incrustación con silicatos de muy difícil extracción).

Como vemos, debemos purgar lo menos posible, pero teniendo en cuenta que si no se purga lo suficiente, se arriesga con ello la integridad de la caldera (incrustación, corrosión, espumas, efecto "priming" o hasta colapso)**, no debe hacerse a cualquier costo la disminución de purga** (marcar bien los parámetros físico-químicos de seguridad), **la pérdida de vidas humanas o el daño a las personas puede ser muy grande, o los costos de reparación.**

Veamos la incidencia del % de purga en la Eficiencia Total (en una caldera de 10.000 Kg/h,, trabajando a 10 Kg/cm2, con un exceso de aire del 25%, con agua de alimentación a 75ºC, con un carga de

marcha del 80%, quemando F. Oíl pesado (para facilitar el cálculo se supuso que la temperatura de chimenea fue constante en 260ºC , temperatura ambiente 20ºC, recordar que la temperatura de chimenea variaría al variar la potencia de fuego con la carga).



El error más común es creer que al usar agua de pozo, haremos un ahorro importante.

Veamos el ejemplo anterior, suponiendo dos calidades de agua, usando ablandador de agua en los dos casos :

agua superficial (OSE Montevideo : T.S.D. 180 ppm, Dureza Total 90 ppm, Alcalinidad Total 90 ppm, Sílice 15 ppm en un momento dado, esto depende de las lluvias, de acuerdo a las estaciones o temporadas, lluviosas o de seca, las salinidades bajan o suben).

agua de pozo : (pozo promedio : T.S.D. 750 ppm, Dureza Total 300 ppm , Alcalinidad Total 450 ppm, Sílice 25 ppm .

En la caldera anterior, **con agua superficial**, la limitante a los ciclos de concentración (c.c.) será el T.S.D. más los productos químicos (aprox. 100 ppm) , tomando como límite del T.S.D. a 3.000 ppm, los

c.c. = 3.000/(190 + 100) = **10 c.c.** , o sea que el % de purga será igual 1/10 x 100= **10% porcentaje de purga sobre agua de reposición.**

Si utilizamos el agua de pozo, podremos tener, también como limitante de los c.c. el T.S.D o sea c.c. = 3.000/(750+100)= 3,5 c.c. o que equivale a 1/3,5 x 100= **28,5% de purga sobre el agua de reposición.**

Pero no es así, la parte más limitante es la alta alcalinidad del agua de pozo, que magnifica el problema (vamos a suponer que **no**

tenemos retorno de condensado**,** que es agua pura, muy deseable para evitar este problema). Pero debemos de tratar el problema de la alcalinidad, que si los productos químicos no la controlan, los c.c. no deberían ser más de 2 c.c. (o sea una purga de 50% sobre agua de reposición), **ya que la Alcalinidad Total máxima debería ser de 900 ppm** (como CaCO3).

Si la caldera funcionando con agua superficial, produciendo **6940 Kg./hora de vapor**, en este caso el combustible (F.Oíl) por hora = **518 Ltrs/hora** (13,76 Kg. de vapor / Kg. de F. Oíl).

Pero si nos pasamos a agua de pozo y manteniendo la misma cantidad de vapor, el F. Oíl por hora pasa a ser 565 Ltrs. /hora (ya que solo produce 12,65 Kg. vapor / Kg. de F. Oíl). **Debido al aumento de purga ha bajado la EFICIENCIA o rendimiento del combustible** (pasamos del 10% al 28,5% de purga). Hemos supuesto que no recuperamos el calor de las purgas.

Es decir que perdemos 13,79-12,68= 1,14 Kg. de vapor por cada 1 Kg. de F. Oíl. (o litro de F.Oíl pesado, dado que el peso específico está próximo a 1).

Si lo miramos, considerando la EFICIENCIA TOTAL, las mismas son para el agua superficial **84,47%** , para el agua de pozo **77,51%**

Si calculamos el ahorro de combustible al pasar de agua de pozo al agua superficial ((84,47-77,51)/84,47) x 100 = **8,2%**

No hemos considerado las pérdidas en la propia agua, que veremos a continuación:

Pero, aunque recuperemos el condensado en un %, debemos de ser cuidadosos con el costo del agua de pozo versus el agua comprada (superficial).

Veamos los costos:

El agua de pozo tiene un costo de bombeo muy bajo por lo general.

La purga del agua de pozo será del 28,5% contra el agua superficial con un 10% , **lo que significa, que por cada 1.285 Ltrs. de agua de pozo** (que debemos tratar), **trataremos 1.100 Ltrs. de agua superficial.**

Costo del ablandamiento

Agua de pozo : 1.285 Ltrs. .....**2,1 Kg. de sal**

Agua superficial : 1.100.....**0,27 Kg. de sal**

O sea que ya nos cuesta el agua de pozo casi 2 Kg. de sal por m3 de agua de vapor producido.

Costo de combustible (debido a las purgas)

Agua de pozo.....8,2% más combustible

Costo de productos químicos

Por lo general el agua de pozo es más caro su tratamiento químico interno, no solamente porque es más cantidad de agua a tratar, sino porque los productos químicos son de más costo básico (para mantener el control de la alcalinidad).

Costo de caldera: hay un "achicamiento" de la caldera, ocupada por la pérdida de calor por la purgas.

Costo de los riesgos : hay riesgos de corrosión, espumas, arrastres o riesgo de colapsado (muchísimo más alto que cuando usamos agua superficial)**.**

Por las razones anteriores, se debe de ser muy cauto para usar agua de pozo cuando hay disponible para la caldera aguas superficiales de baja salinidad.

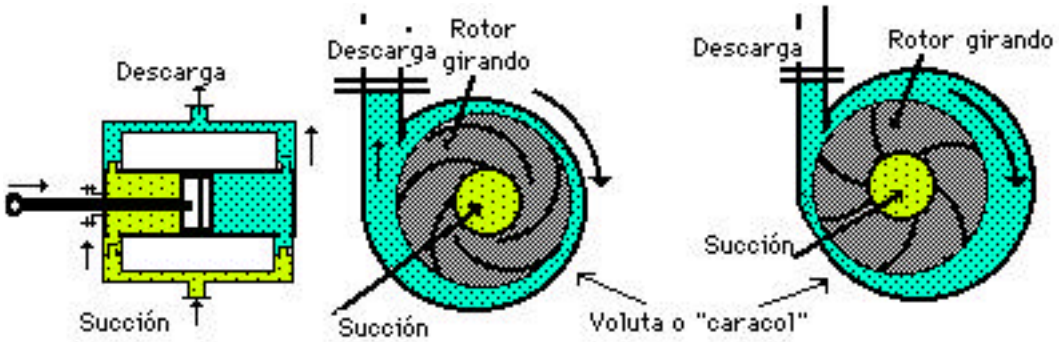
Demás está decir, que si se dispone agua superficial en la propia planta, muchas veces es muy buen "negocio" hacer el tratamiento de dicha agua para uso industrial (clarificación y filtrado), ya que el costo por lo general es menor que el agua "comprada".

PERDIDAS EN LOS SISTEMAS AUXILIARES DE LA CALDERA

1- Pérdida en las bombas de alimentación:

Las bombas son a tener en consideración en cuanto a la energía que consumen, **dado que no solamente como son en si mismas en referencia a su propia Eficiencia** (hablamos de la energía que utilizan para bombear un determinado volumen de agua a una presión), **a la forma en que están instaladas** (cañerías, fitting, tanque de suministro) **o forma de operación** (modulación continua, prende y apaga - ON-OFF- , con by-pass de retorno, etc.).

a- La eficiencia de la bomba, se encuentra por lo general en un punto o zona de cruce entre una determinada presión y un volumen de agua a bombear por hora. Será de suma importancia trabajar en el entorno de dicha máxima Eficiencia, de manera de utilizar la mínima energía.



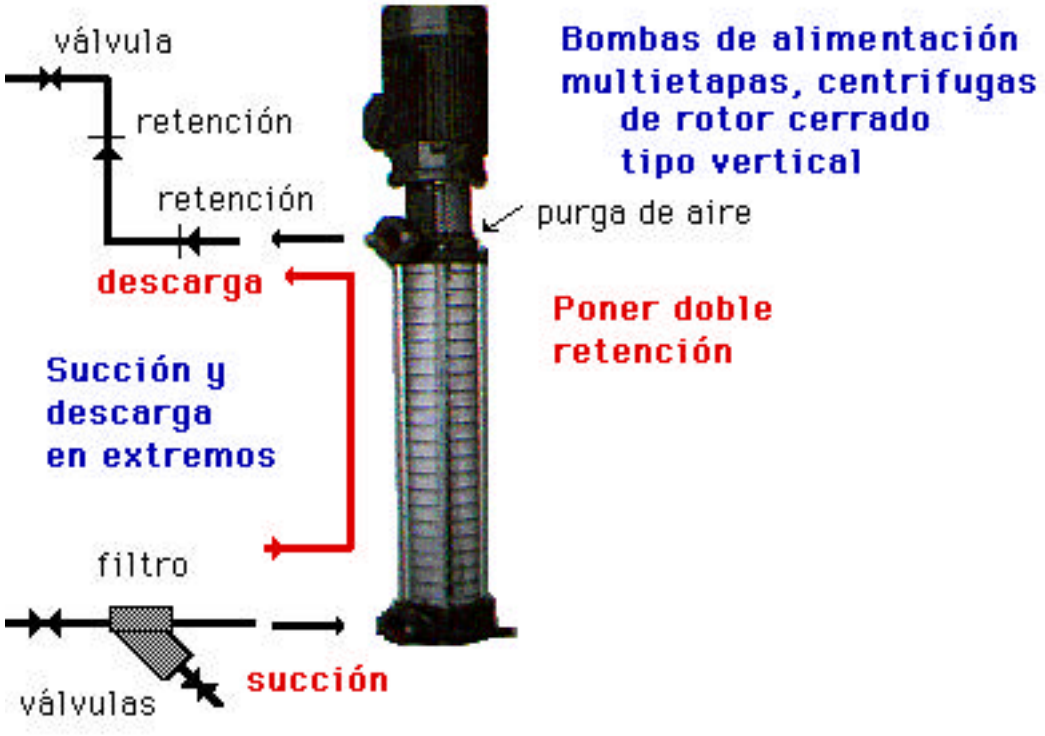
Pero hay diversas bombas de alimentación, en calderas, que utilizan distintos principios de funcionamiento :

1-Bombas centrifugas (deslizantes).

Estas bombas transmiten la energía entre una reacción del rodete y la envolvente o carcaza de la bomba (utilizando la fuerza centrífuga en buena parte), permitiendo "deslizar" el rodete al cerrar la circulación de agua del lado de la descarga. **Su característica es que a mayor presión** (cerrando la descarga) **disminuyen el consumo de energía.** Por lo que estas bombas **son ideales para ser instaladas como bombas de alimentación continua** (puede ser comandada por una válvula motorizada o simplemente con un flotador-sistema STEPS-, que resulta muy interesante por su simplicidad). Aquí la bomba gasta una energía fija en vencer su propio trabajo interno, la energía en el bombeo necesario a cada condición de alimentación y una pequeña cantidad de energía en establecer un pequeño flujo de retorno al tanque, **para mantener la refrigeración** interna al cerrar del todo el sistema de alimentación (aproximadamente de un 5%).

Estas bombas centrifugas (deslizantes), **tienen grandes diferencias de eficiencia entre los distintos suministros** (fabricantes locales o internacionales)**. Actualmente se logran altísimas Eficiencias con bombas diseñadas y fabricadas por computadoras** (son de metal forjado, antes por lo general eran de fundición de hierro y bronce, cuyos elementos internos era difícil lograr la forma y la terminación de las superficies adecuadas al flujo hidráulico. La crítica a estas nuevas bombas es que deben ser instaladas correctamente (no deben funcionar sin agua, o con vapor a contraflujo-rotura de retenciones- por lo **que si esto ocurre, la bomba se estropea.** Por eso es conveniente este tipo de bomba moderna (como la indicada en la figura), instalarla con 2 retenciones , un buen y generoso filtro de succión, una cañería de succión de buena dimensión y baja pérdidas de carga, con el tanque de

alimentación a no menos de 5 m. de altura.

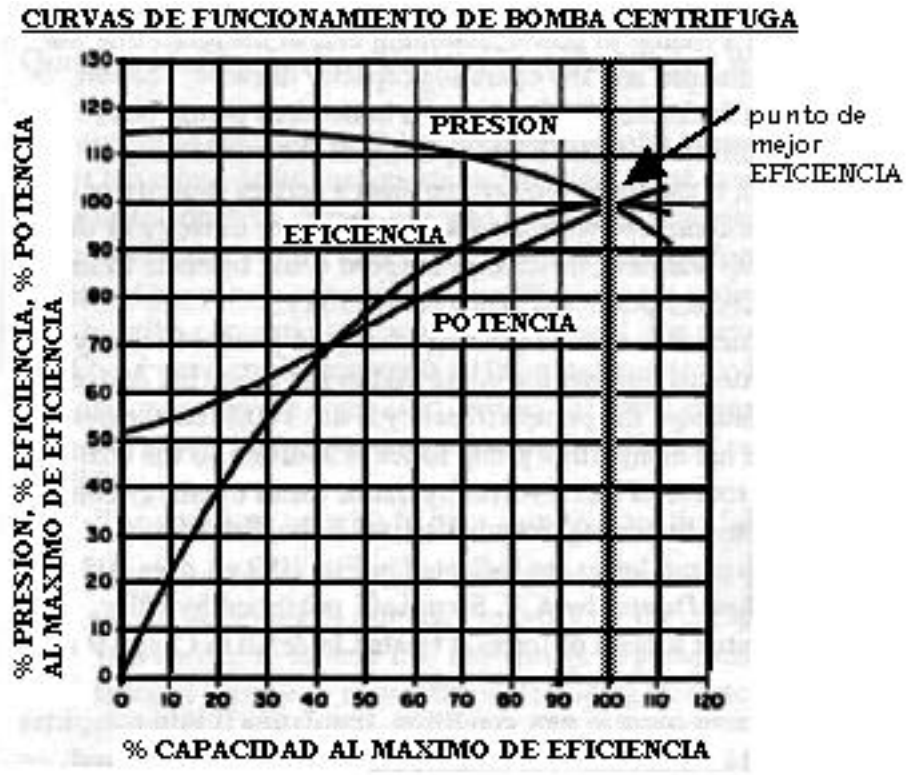


Siempre que se compren bombas de alimentación se debe aclarar que funcionarán a una temperatura tan elevada como 100ºC .

Nunca se deberá funcionar las bombas sin agua, el agua es su lubricación y enfriamiento.

La alta temperatura del agua, casi o en la ebullición, no solamente deberán manejar el problema de la cavitación, sino los sellos y empaquetaduras, estarán sometidos a una temperatura alta por la fricción que produce calor, ya que la propia agua por lo general ofician de lubricante y de enfriador.

El uso de sello en las bombas de alimentación, mejoran la Eficiencia global, ya que no habrá pérdidas de agua (agua tratada, agua caliente, etc.). **Además los sellos tienen menos pérdida mecánica** (menos energía perdida), **no tienen mantenimiento periódico** (con gastos de trabajo operacional, parada o material a reponer). Pero, si el sello falla, por lo general, se deberá cambiar.


CURVAS DE FUNCIONAMIENTO DE BOMBA CENTRIFUGA
PRESION
punto de mejor EFICIENCIA
EFICIENCIA
POTENCIA
% PRESION, % EFICIENCIA, % POTENCIA AL MAXIMO DE EFICIENCIA
% CAPACIDAD AL MAXIMO DE EFICIENCIA

En el gráfico anterior, las curvas trazadas, no son las curvas reales de presión, potencia y eficiencia, sino que son los % relativos. Por ejemplo: la eficiencia máxima real de la bomba puede ser 60%, pero en el gráfico este 60% está representado por el 100% o punto de máxima eficiencia, la presión que corresponde al 100%, es la presión en este punto (que puede ser 10 Kg/cm2 o cualquier otro valor correspondiente a dicha bomba), así la potencia de este punto, será la 100% (que puede ser 5 Kw u otro valor correspondiente) y la capacidad en este punto, también la hemos tomado como el 100%. Generalmente las curvas que entregan los fabricantes, son las curvas reales, en las cuales habrá que buscar el punto de mayor eficiencia versus la presión, para una determinada capacidad, el cual corresponde una determinada potencia (Kw o HP).

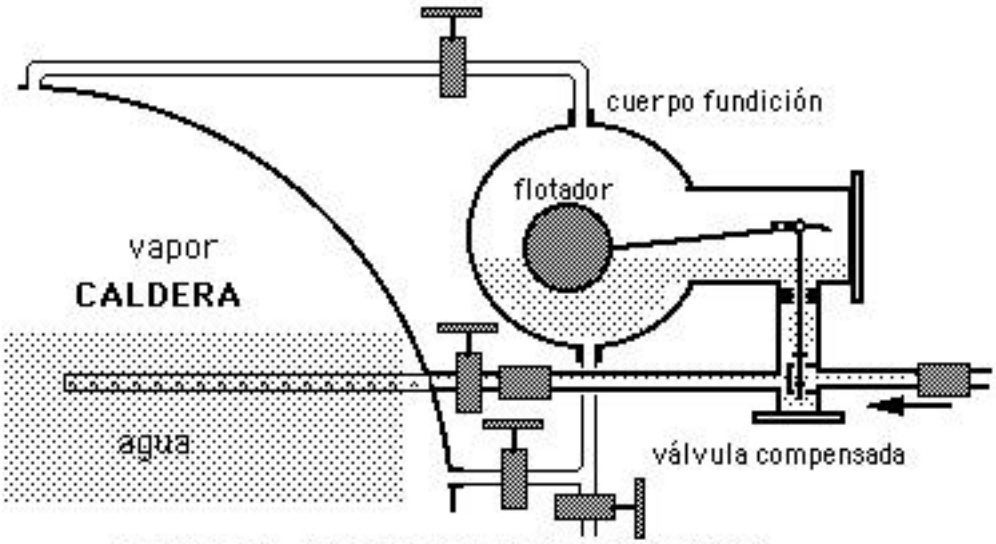
Las curvas de las bombas centrifugas (presión versus potencia y Eficiencia, también puede estar las curvas de las características de succión: el NPSH o la curva de succión)**, nos permiten la elección de la bomba más adecuada, para no perder energía.**

Debemos recordar, que las bombas en la actualidad, en la mayoría de la plantas de vapor, son con propulsión **eléctrica**, **una energía más cara que el vapor que generamos, por lo tanto, con más razón debemos de buscar la máxima Eficiencia en su utilización.**

Lo primero es buscar la presión y dimensión más adecuada, esto depende de la presión de la caldera, y de la forma de operar la alimentación (continua o todo-nada).

La alimentación todo-nada (ON-OFF) **aparenta ser más económica que la alimentación continua modulada.** Muchos

parámetros deberán ser tenidos en cuenta para poder evaluar esto, **pero a veces no hay alternativa, especialmente cuando la caldera ya tiene cierta dimensión y el tipo de proceso lo exige, la alimentación continua es inevitable.** (yo diría que a partir de los 4.000 Kg/hora de vapor, en donde se necesita calidad de vapor, tanto en presión como en humedad, además de una buena respuesta, la única **alternativa lógica es la alimentación continua**, además la caldera sufre menos choques térmicos, recordar que la baja temperatura que entra el agua de alimentación respecto al agua de caldera, al ser continua la alimentación su volumen instantáneo es menor que el volumen cuando alimenta todo o nada, lo que disminuye el choque térmico).



CONTROL DE NIVEL POR FLOTADOR

El sistema de control de nivel por flotador (tipo STEPS), es el sistema más simple de modulación continua de alimentación, usando un flotador y una válvula compensada, se puede trabajar con calderas de hasta más de 15 Kg/cm2 y caudales de más de 20 tn/hora. Si bien tienen un costo inicial importante (por el tamaño del cuerpo), **luego será un sistema sin problemas, sin costo operativo y con fácil mantenimiento** (inspección anual, ya que las parte con posibles desgastes son de materiales especiales). **Este sistema, en mi opinión es el mejor sistema para baja presión, sin consumo de energía y sin casi atención.**

Si la **alimentación es continua, no debemos de exagerar con la presión y el exceso de caudal de la bomba, ya que lo que debemos cubrir son las pérdidas de carga más la presión de la caldera, para mantener el máximo caudal de alimentación de agua, eligiendo la**

bomba en cuyo punto operará con máxima Eficiencia (antiguamente, al ser las bombas de fundición de hierro y bronce, dado al desgaste que estaban sometidas por corrosión y erosión, especialmente en los aros de desgaste, se disponía de una bomba de mayor capacidad, de manera de ir absorbiendo con los años este desgaste que bajaba la capacidad de la bomba y su presión - **aumentando el consumo de energía al producirse la recirculación interna-**, hoy en día con las bombas actuales la situación es diferente, **cuando hay desgaste la bomba no funciona**, ya que los materiales son anti-corrosivos y de pequeña pared, pero de larga vida).

Si la bomba operara todo-nada (ON-OFF), **la capacidad de la bomba casi siempre duplica la capacidad máxima de la caldera** (la bomba trabaja el 50% del tiempo a la capacidad máxima de vaporización)**. Para que esto ocurra, la bomba opera con una presión más alta** (el punto de mejor Eficiencia de la bomba estará próximos al doble del caudal máximo de vaporización y la presión lo suficiente para lograr este propósito, por lo general casi una vez y media la presión de trabajo de la caldera).

En este caso se debe de **tener mucho cuidado de evitar las condiciones de cavitación** (formación de burbujas que colapsan en el interior de la bomba, quitándole capacidad y provocando un consumo de energía extra al necesitar mayor tiempo de bombeo, además de terminar en muchos casos destruyendo la bomba). La cavitación es producto de varias causas : **a- del diseño de la bomba** (adecuada para agua caliente), **b- de la altura del tanque** de alimentación sobre la succión de la bomba (dependiendo de la temperatura del agua, a 100ºC esta altura será por lo menos 5 m.),**c- de la pérdida de carga en la línea de succión**. Esta última puede tener consecuencias catastróficas, ya que por algún lugar **puede provocarse succión de aire por estar por debajo de la presión atmosférica** (como ser en el sello de la bomba, empaquetaduras de válvulas o pequeñas pérdidas), **este oxígeno que entra con el aire, atacará a la caldera y especialmente al sistema de distribución** (aumentando el efecto de corrosión por CO2), **además, lograr mantener un residual de productos secuestrantes de oxígeno** (como sulfito u otros), **será casi imposible** (o con grandes cantidades de productos químicos).

b-Bombas semi-regenerativas.

Estas bombas, utilizan parte de la energía centrífuga, pero más que nada el **choque de la velocidad del agua en un cambio de dirección**, cosa que hace que se logren grandes presiones, **pero que no se pueden controlar en el caudal cerrando el flujo a la descarga**. La única forma de controlar su flujo, es **la derivación de parte del flujo**

al tanque de alimentación, cosa que hoy no tiene sentido económico, ya que es una energía perdida.
Son buenas bombas para el funcionamiento todo-nada (ON-OFF), **pero sus rendimientos no son atractivos**, ya que al producirse desgastes, pierden su capacidad de bombeo rápidamente. Fueron usadas con bastante frecuencia, ya que su costo de fabricación era bajo (generalmente los rotores son maquinados) , pero para el usuario, **su costo operativo es muy alto**. También existe el falso concepto que bombean aguas "turbias" (esto en caldera ocurre cuando el tratamiento químico está mal encarado y se producen precipitaciones en el tanque de alimentación), **las bombas regenerativas tienen luces laterales en los rotores** (que son flotantes en cada cámara o evoluta), **estas pequeñas luces tienden a agrandarse por el desgaste de erosión que producen las partículas que han precipitado** (siempre hay una superficie dura-fundición- contra una superficie blanda, generalmente un bronce, para evitar el desgaste metálico en lo posible por la fricción entre los metales, que tiende a separarse por el agua,cuando la bomba está en funcionamiento, lo que lubrica y enfría), **este desgaste provoca que la bomba pierda capacidad, presión y eleve su costo operativo.**

c-Bombas de desplazamiento positivo. ("burritos de vapor").

Estas bombas, por lo general, para alimentación de caldera, son a pistón, son de gran tamaño constructivo, mucho mantenimiento y un **alto costo operativo.** Se usaron mucho en el pasado, ahora pueden ser usadas como **bombas de emergencia** (accionadas a vapor) en las calderas que queman celulósicos.

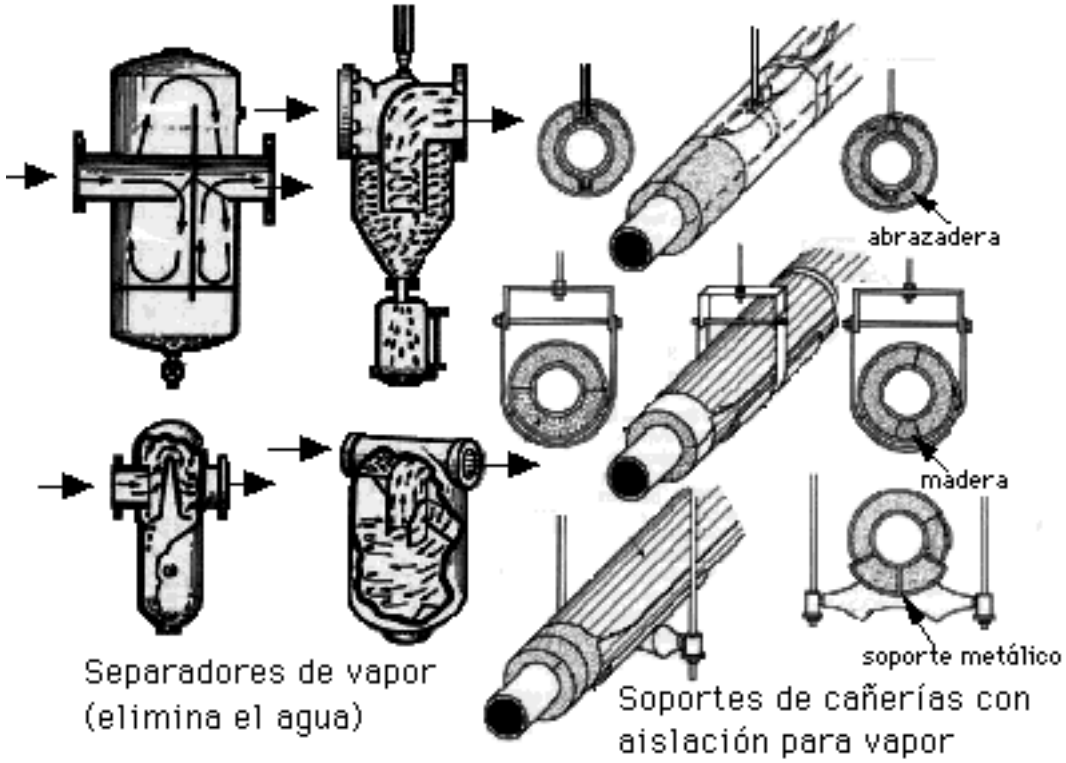
d-Inyectores de alimentación.

Aparentemente son atractivos, ya que utilizan el propio vapor de la caldera para inyectar el agua, **pero, solo son capaces de "bombear" inyectando agua relativamente fría.** Se necesita un diferencial térmico para provocar el cambio de energía térmica del vapor en energía mecánica para elevar la presión del agua de alimentación para vencer la presión en la caldera y poder alimentar, por eso se necesita un tanque auxiliar con agua fría ablandada para el inyector cuando se usa de emergencia**, cosa que no es adecuado hoy en día en la operación de una caldera.** Con agua fría estamos perdiendo la oportunidad de recuperación del calor del condensado, introduciendo oxígeno a la caldera (que debemos combatir con productos químicos). Los inyectores, además, si son operados con aguas duras, deben ser mantenidos (desincrustados), dado que se incrustan sus pequeños

conductos interiores. Pueden ser una buena alternativa para usarlos como **alimentación de emergencia** en las calderas de quema de celulósicos (en vez de usar "burritos" : bombas alternativas).

En resumen :

alimentar una caldera tiene un costo, del tipo de bomba y forma de operación, será su resultado económico. Buscar la simplicidad y el bajo costo, es muy importante. Puede haber sistemas de alimentación muy sofisticados, automatizados, etc. pero **que tienen un costo inicial alto y luego un costo de mantenimiento importante** (con personal altamente especializado), **por ello hay que ser muy cauto al elegir.**



ELEMENTOS PARA CAÑERÍAS DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

La **distribución de vapor**, **es tan importante como la generación.** Su Eficiencia o sea la relación de la energía que realmente llega al proceso y la que sale de la caldera, en general es bastante baja.

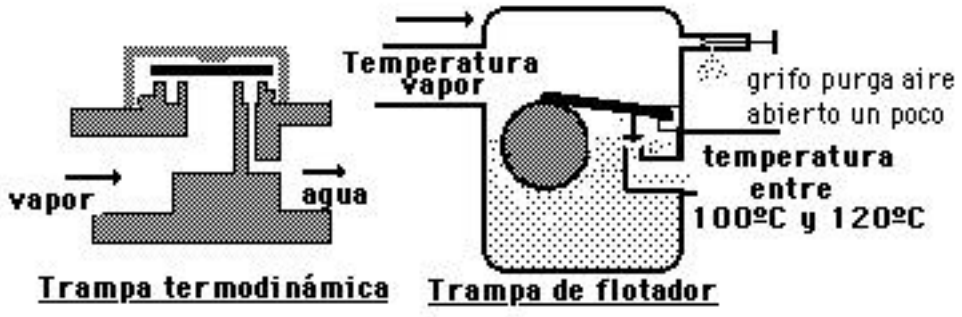
Principalmente la falta o la mala aislación de las cañerías, es el factor de mayor pérdida de calor (suponiendo que no hay pérdidas

directas de fluidos)**.** Aunque en general, observamos que en muchos lados, en donde las cañerías son aisladas, **falta la aislación en los elementos de control, manejo y armado de las mismas :** (no hay aislación en las bridas, válvulas, reductoras, separadores, etc.) **y aún en los soportes** (que forman "puentes" de transmisión de calor con altísimas pérdidas), **juntas de dilatación** (expuestas al ambiente), **pérdidas en conexiones, empaquedaduras** (tanto desde los elementos de sellar las roscas, juntas de platinas, como vástagos de válvulas cuya empequetaduras están mal hechas o mal elegidos los materiales).

Las **caídas** de las cañerías son fundamentales, ya que debemos de mantener el vapor saturado lo más libre de humedad en lo posible, **dejando para ello zonas de drenaje, en las cuales deberá haber trampas de vapor** (que saquen el condensado sobrecalentado, sin perder vapor). Si las cañerías estuvieran inundadas de condensado, se crean posibles golpes de "arietes", pero fundamentalmente se "achican" las cañerías y las pérdidas de carga aumentan, bajando la temperatura del vapor, dismuyendo su capacidad de transferencia (salto térmico) en los equipos.

Los **colectores o recipientes separadores de vapor**, también deben ser aislados, ya que consumen una gran energía, debido a la gran superficie expuesta al ambiente.

No todas las trampas son económicamente aceptables (por lo general las trampas de más bajo costo, son las trampas que en el tiempo son las de más alto costo, debido a que funcionan usando la misma energía del vapor o sea que "consumen" vapor para funcionar, el caso más claro ocurre con las válvulas termodinámicas).

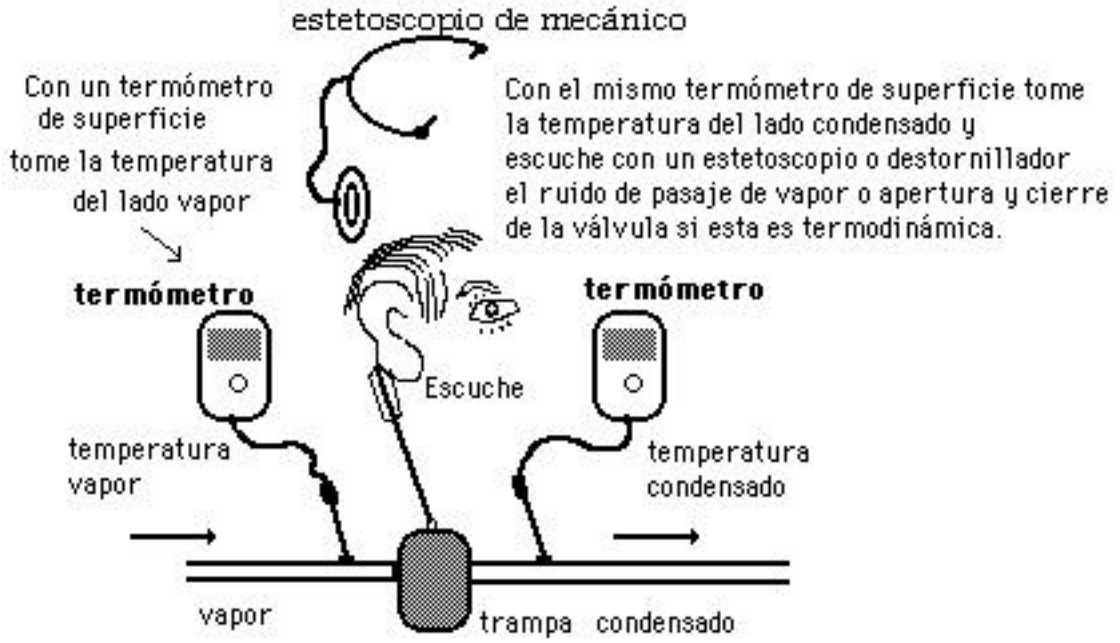


Uno de los problemas más importante en las trampas, **no es solamente su elección para el ahorro energético, sino el control del mantenimiento, ya que cuando las trampas de vapor andan mal, la pérdida de vapor es la consecuencia inmediata, que no solamente**

es una pérdida de energía directa, sino que en muchos casos afectan hasta la propia instalación (en su funcionamiento, ya que el vapor en las cañerías de condensado, generan pérdidas de carga, que afectan el funcionamiento de otras trampas y sus equipos asociados).

Por eso, debemos de mantener una rutina de mantenimiento de trampas de vapor. Muchas veces o casi siempre, las trampas no tienen visores para ver el flujo del lado de condensado y poder apreciar la presencia exagerada de vapor. Hay equipos de ultra-sonido, otros de termómetros diferenciales, etc., para la detección de la falla de la trampa. En nuestro caso, proponemos un par de sistemas, de fácil implementación, uno puede ser con un estetoscopio de mecánico (escuchando el pasaje de agua y vapor, que también se puede improvisar usando un destornillador para auscultar), **o el otro utilizando un termómetro electrónico con un sensor de superficie** (aquí comparamos las temperaturas de la trampas del lado de vapor y del lado del agua, si del lado de agua la temperatura se aproxima al lado de vapor, es evidente que estamos frente a un desperfecto de la trampa cuando las temperaturas tienden a aproximarse).

Las trampas de vapor, por lo general no deben ser aisladas (puede ser afectado su funcionamiento, ya que esto puede bloquear el funcionamiento correcto de algunas trampas, al no enfriar los gases o al no dejar condensar el vapor que queda atrapado).

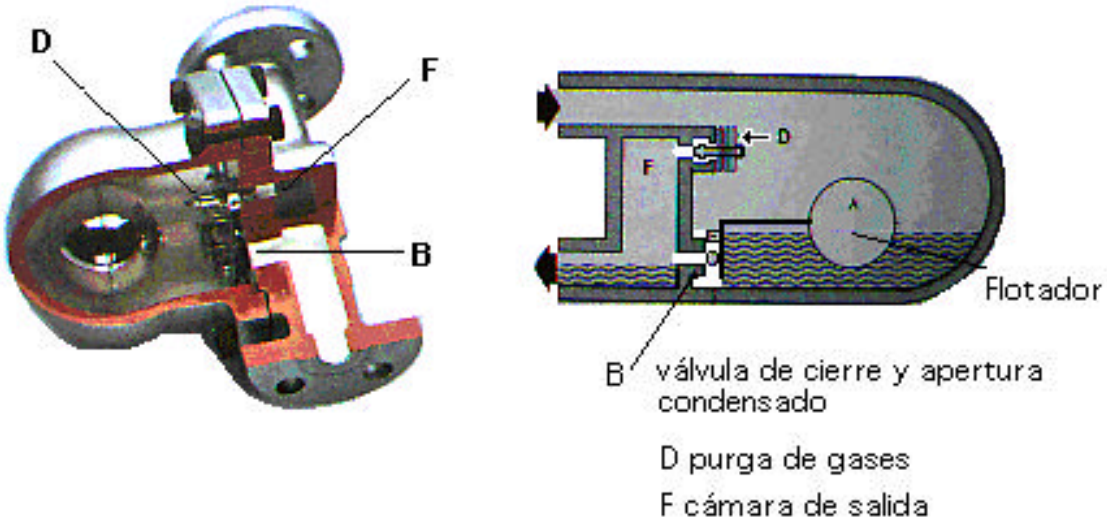

estetoscopio de mecánico
Con un termómetro de superficie tome la temperatura del lado vapor
Con el mismo termómetro de superficie tome la temperatura del lado condensado y escuche con un estetoscopio o destornillador el ruido de pasaje de vapor o apertura y cierre de la válvula si esta es termodinámica.
termómetro
termómetro
Escuche
temperatura vapor
temperatura condensado
vapor
trampa
condensado

En la figura superior, estamos controlando el funcionamiento de una trampa de vapor. El termómetro del lado de vapor indicará una temperatura próxima a indicada en la tabla de vapor para la presión de trabajo (puede que no sea así si la presión de vapor es restringida por una válvula reguladora de control de la temperatura del equipo), puede haber una diferencia de temperatura debido al enfriamiento exterior a la pared de metal del tubo en donde se toma la temperatura. Del lado de condensado de la trampa de vapor, debido a que la presión es cercana a la atmosférica, deberá indicar una temperatura cercana a los 100ºC (si hay válvula reguladora, puede que la temperatura estará por debajo de la temperatura de 100ºC), **pero, si la temperatura estuviera por encima de los 120ºC, es muy probable que la trampa esté perdiendo vapor.** Si es una trampa termodinámica, veremos que la temperatura "aguas abajo" de la trampa, estará variando de acuerdo a si la trampa está abierta o está cerrada, en forma cíclica, esto se puede corroborar con el estetoscopio o el destornillador.

EN RESUMEN : en el sistema de trampas de vapor, puede haber grandes pérdidas. Estas **se pueden disimular**, si tenemos un sistema recuperador de vapor de "flash" muy efectivo y generoso.

En mi opinión, siempre que se pueda, se deben utilizar trampas de flotador, cuyo funcionamiento solamente detecta el agua condensada para abrir, sin consumir energía (puede que un poco de energía consuman debido a la necesidad de mantener una purga de gases, además de su relativa gran superficie al ambiente, por donde se pierde calor que lleva el condensado, pero en general son las más eficientes).

TRAMPA DE FLOTADOR (con purgador de gases automático)



LA AISLACION:

Los materiales utilizados para hacer la aislación, **deben ser buenos aislantes** (**coeficiente de conductividad** muy bajo, por ejemplo la lana de vidrio tiene **0,03 Kcal/m h ºC**, **esto significa** las kilocalorías que pasarían por 1 m2. de superficie y por un metro de espesor del material cuando la diferencia de temperatura es de 1ºC, en el tiempo de 1 hora). Además soportar las condiciones de temperatura y mecánicas. En baja temperatura, hasta unos 90ºC se puede usar poliuretano expandido, luego en bajas presiones, hasta unos 200ºC se puede usar lana de vidrio aglomerada orgánicamente, pudiéndose usar a más alta temperatura sin aglomerante orgánico (cuanto más compactada, más aislante), cuando se trabaje con temperaturas superiores, se deberán usar otros materiales (como lana mineral y otros, cuya base por lo general son silicatos de calcio y magnesio, en muy alta temperatura los alúmino-silicatos). La vermiculita (un material calcáreo, esponjoso, que se dá en ciertas sedimentaciones), se usó mucho en la épocas anteriores, se compactaba con silicato de sodio (a veces con jabón líquido que contiene dicho producto), los caños aislados se forraban con tela o con malla metálica y revoques o yeso, elementos que también fueron usados en la aislación de equipos. Hoy en día es muy conveniente utilizar aislación prefabricada, del material y espesor adecuado a cada temperatura y **poner un buena protección entre la aislación y el ambiente, de manera de proteger la aislación** (dejando la posibilidad de desarmar para reparaciones, estos materiales pueden ser de chapa de inoxidable, hierro galvanizado, aluminio, etc.).

Además, en exteriores, es conveniente proteger de los vientos la conducciones de cañerías, ya que si la aislación tiene del lado externo un "enfriamiento" provocado por los vientos, la pérdida será mayor, de la misma manera la caída de lluvia sobre la cañería será un factor de aumento de pérdida de calor (esta pérdida es proporcional a la diferencia de temperatura entre la superficie externa de la aislación y la de la cañería).

Como la pérdida es <u>proporcional a la diferencia de temperatura</u>, lo primero para ahorrar energía, será bajar todo lo que se pueda la temperatura del vapor (o sea, la presión, y la temperatura de todos lo componentes del sistema).

Lo importante es lograr una aislación que no permita la pérdida de calor (esta siempre existirá, buscaremos que sea lo más pequeña posible). **Es evidente que a mayor espesor de la aislación,**

menor será la pérdida (habrá que evaluar costo versus resultados en el tiempo).

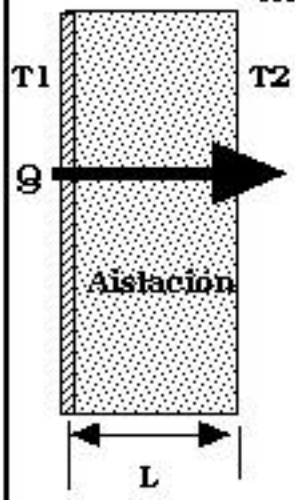
Un aislante, si está húmedo por pérdida de vapor o agua, pasará a ser un mal aislante, de la misma manera si está expuesto a la intemperie (lluvias, tiempo húmedo, etc.)**.**

Los aislantes, deben ser protegidos del desgaste mecánico, del agua, del viento, de algunos gases, etc., para ser efectivos y tener larga vida.

PERDIDA DE CALOR POR UNA AISLACION PLANA

Kcal (ó watt) por m2. y por hora

Unidades métricas



Q flujo de calor perdido Kcal. (ó watt) / m2 h

T1 temperatura a aislar ºC ó ºK

T2 temperatura ambiente ºC ó ºK

L grueso de la aislación m (metros)

En forma simple, podemos expresar las siguientes relaciones :

$$Q = \frac{\text{T1 - T2 (diferencia de temperatura)}}{\text{resistencia térmica}}$$

$$\text{resistencia térmica} = \frac{\text{L (grueso aislación)}}{\text{Conductividad de la aislación}}$$

$$Q = \frac{\text{T1 - T2}}{\frac{\text{L (grueso aislación)}}{\text{Conductividad de la aislación}}}$$

$T1 - T2 = \partial T$

Conductividad de la aislación = **K**
K unidades kcal/mºCh (watt/mºKh)

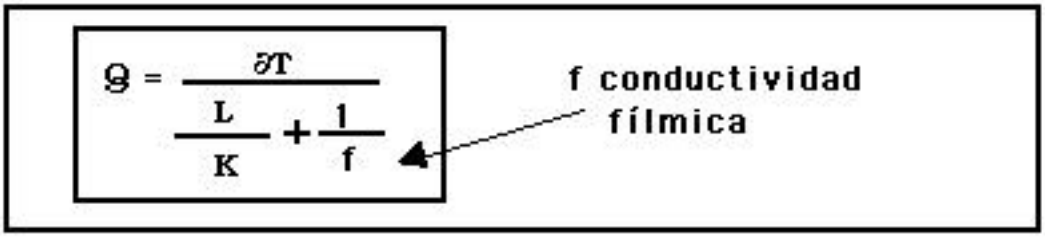
$$Q = \frac{\partial T}{\frac{L}{K}}$$

Si intervienen más de un tipo de aislación, la fórmula general es:

$$Q = \frac{\partial T}{\frac{L1}{K1} + \frac{L2}{K2} + \frac{L3}{K3}}$$

En la formulas que hemos expuesto, se ha despreciado el efecto de "film" (la **resistencia** del pasaje del calor, provocada por el propio aire sobre la superficie, desde el forro exterior de la aislación al ambiente, que depende de las condiciones

externas ambientales y de la terminación de la propia aislación). Esta resistencia es igual 1/f (siendo f la conductividad fílmica expresada en Kcal (watt) por m2, por hora y por 1 ºC). Esta conductividad fílmica puede valer aprox. f= 11 Kcal (9,5 watt)/m2hºC, en algunos casos, variando, especialmente con la velocidad del viento que incide en el exterior de la aislación.



Veamos algunos aislantes comparados su conductividad térmica respecto a los materiales usuales de construcción de cañerías.

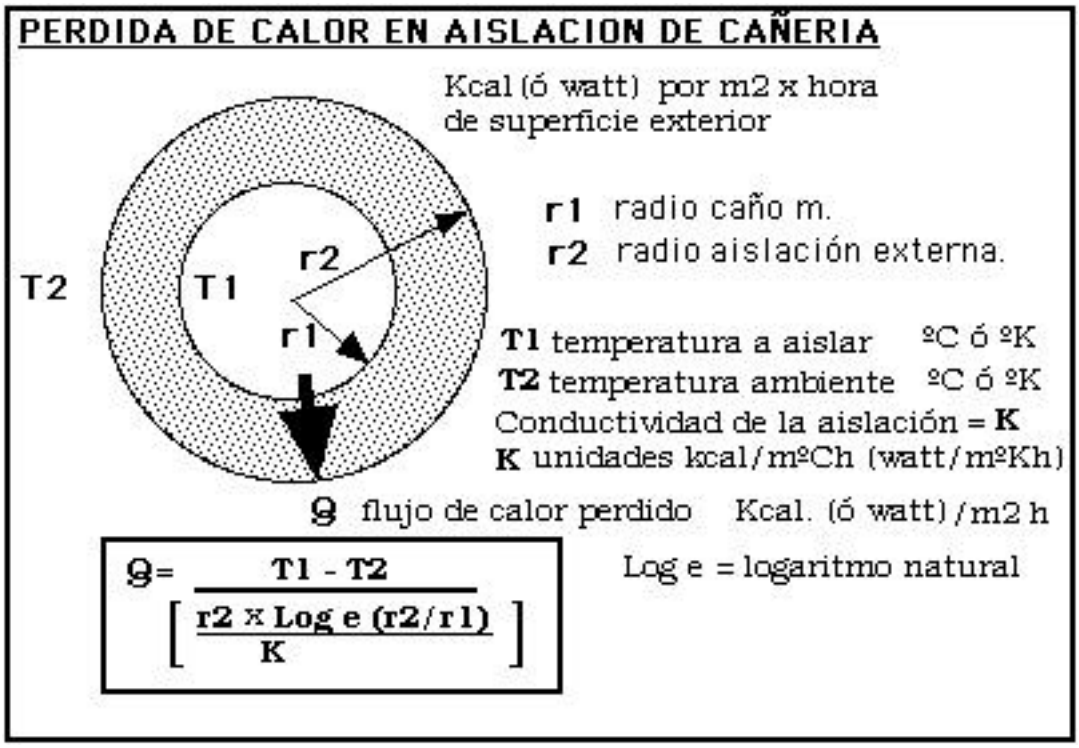
Conducción del calor por los siguientes elementos: (coeficiente **K**)

Acero.....	40 a 50	Kcal/ m h ºC
Cobre.....	320	Kcal/ m h ºC
Aluminio.....	180	Kcal/ m h ºC
Vidrio.....	0,18	Kcal/ m h ºC
Lana de vidrio.....	**0,03**	**Kcal/ m h ºC**
Lana de amianto.....	**0,05**	**Kcal/ m h ºC**
Poliuretano expandido..	**< 0,03**	**Kcal/ m h ºC**
Vermiculita.....	**0,08**	**Kcal/ m h ºC**

Vemos que los materiales aislantes conducen menos el calor., siendo el poliuretano expandido uno de los más aislante, aunque su limitación en calor, es la temperatura (en la práctica unos 80º-C a 90ºC). El amianto es cuestionado por cancerígeno.

Cuanto **más bajo sea el coeficiente de conducción de calor** (**K**), **más aislante es el material** (en la fibra de vidrio, cuanto más compacta, hasta cierto límite, mejor será su efecto aislante, porque disminuye más el efecto de trasmisión de calor por el aire interno atrapado entre la fibras, **esto también es válido para los otros materiales**), **cuanto más espesor, mejor aislación lograremos, pero el efecto aislante debe mantenerse, logrando que los materiales aislantes estén secos y libres de elementos contaminantes.**

Es conveniente, las conducciones de cañerías con vapor (que tienen una temperatura alta respecto a la intemperie), **además de aisladas, sean conducidas en ductos que las protejan de los vientos y las lluvias.**


PERDIDA DE CALOR EN AISLACION DE CAÑERIA
Kcal (ó watt) por m2 x hora
de superficie exterior
r1 radio caño m.
r2 radio aislación externa.
T2
T1
r2
r1
T1 temperatura a aislar ºC ó ºK
T2 temperatura ambiente ºC ó ºK
Conductividad de la aislación = K
K unidades kcal/mºCh (watt/mºKh)
Q flujo de calor perdido Kcal. (ó watt)/m2 h
Q= T1 - T2 / [r2 x Log e (r2/r1) / K]
Log e = logaritmo natural

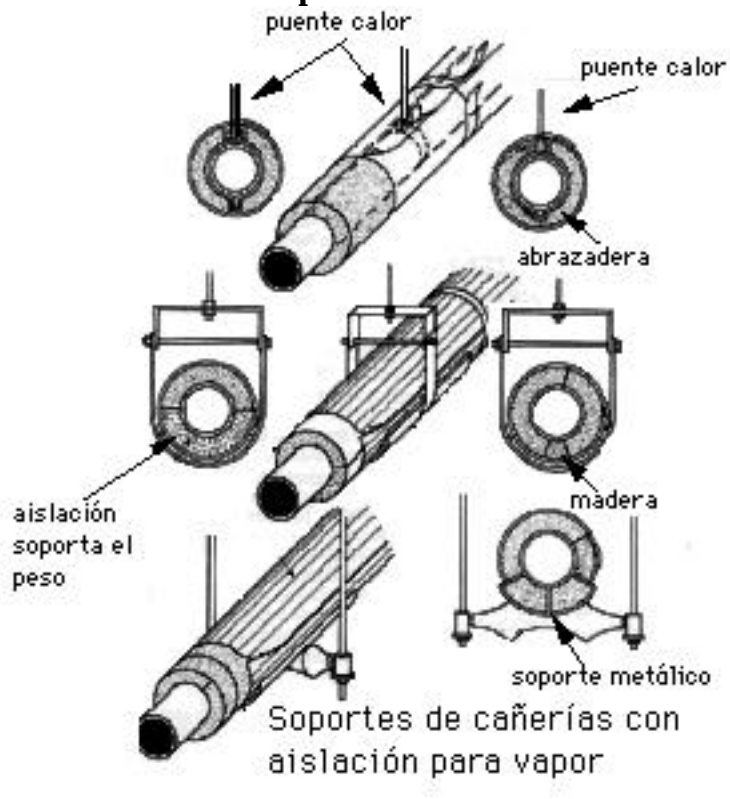
En este caso, también se debe considerar el factor de resistencia "filmica" del aire, del lado exterior de la aislación, sumándose en el denominador 1/f. Siendo válido todo lo dicho anteriormente.

LOS "PUENTES DE CALOR"

Cuando aislamos una cañería, debemos de soportarla de alguna manera, al "colgarla" o "apoyarla", los elementos mecánicos, generalmente de materiales de hierro, forman **"puentes de calor"** (es decir, que conducen el calor desde la cañería al exterior, perdiéndose calor), por lo **que debemos de interponer en los puentes de sujeción, un material que interrumpa el "puente de calor" o achicar dichos "puentes" o "caminos" para que escape el calor** (disminuir el perfil y alargar el metal que forma el puente)**.**

En baja temperatura, para separar los "puentes de calor" se puede utilizar la madera (hasta unos 150ºC se pueden utilizar madera de cierta características, generalmente las que por su dureza soportan las condiciones climáticas y mecánicas, en nuestro país podría ser el eucaliptos colorado), **en más alta temperatura,** los materiales deberán ser de material inerte (cerámicos u otros), **pero el concepto principal, es buscar que la parte metálicas en contacto sean de baja sección, sumergidos en la aislación, buscando crear**

una dificulta de dimensión al paso del calor.

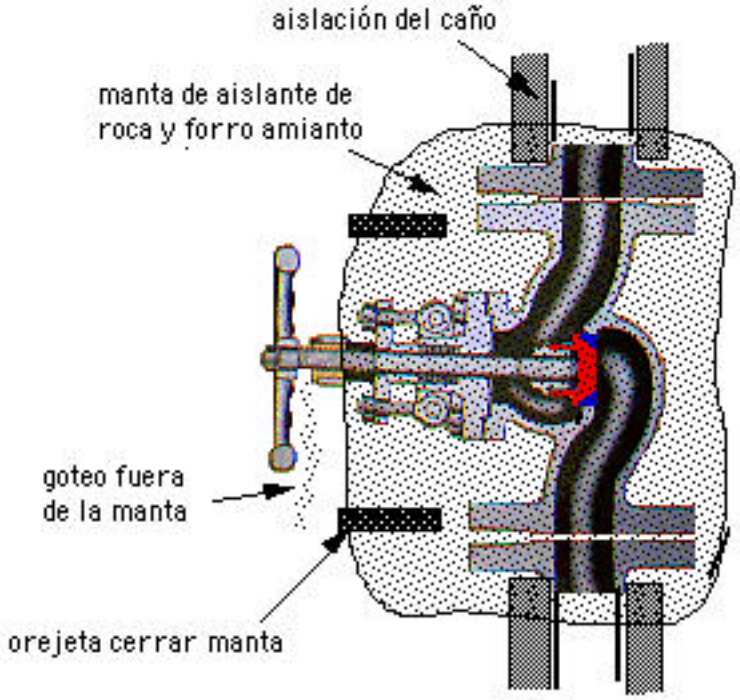


Soportes de cañerías con aislación para vapor

En cuanto a válvulas y bridas (inclusive otros elementos) **que tengan superficies expuestas al ambiente, por donde se pierden grandes cantidades de calor,** se pueden aislar con "mantas" desmontables para la reparación. Estas mantas, construidas con un material de relleno (por ejemplo: lana de "roca"), aislante que soporta la temperatura, tendrá un forro exterior (malla : alambre tejido, con malla de tela tejida para alta temperatura, aluminio , etc.) que soporte el calor y **que por medio de "orejetas" o enganches, se instalen y que se saquen fácilmente para el mantenimiento.** (dejando del lado exterior, solamente los volantes de operación). Lamentablemente estas mantas, no se ven comúnmente instaladas, los dueños de la fábricas ni se imaginan la pérdida anual que tienen por la exposición de todas las válvulas y elementos de control que se encuentran expuestos (es probable que tengamos una pérdida superior al 10% del combustible en una planta cuya base sea la calefacción por vapor de la producción).

Se puede estimar que cada válvula sin aislación tiene una pérdida equivalente a 10 m. de cañería aislada de la misma dimensión nominal o más de 1 m. de cañería equivalente sin aislar.

Se debe **de tener cuidado que las pérdidas de las empaquetaduras no se produzcan en el interior de la manta, esto sería un problema de pérdida de aislación y de corrosión** (las válvulas deben instalarse de manera que la pérdida de la empaquetadura no caiga sobre la cañería y dejar el drenaje en la parte exterior de la manta)**.**



VALVULA AISLADA CON MANTA DESMONTABLE

También, **los elementos de dilatación** (como las juntas de dilatación) se podrían aislar con mantas "flojas" o con un forro de aislación que permite el movimiento de la junta en el interior).

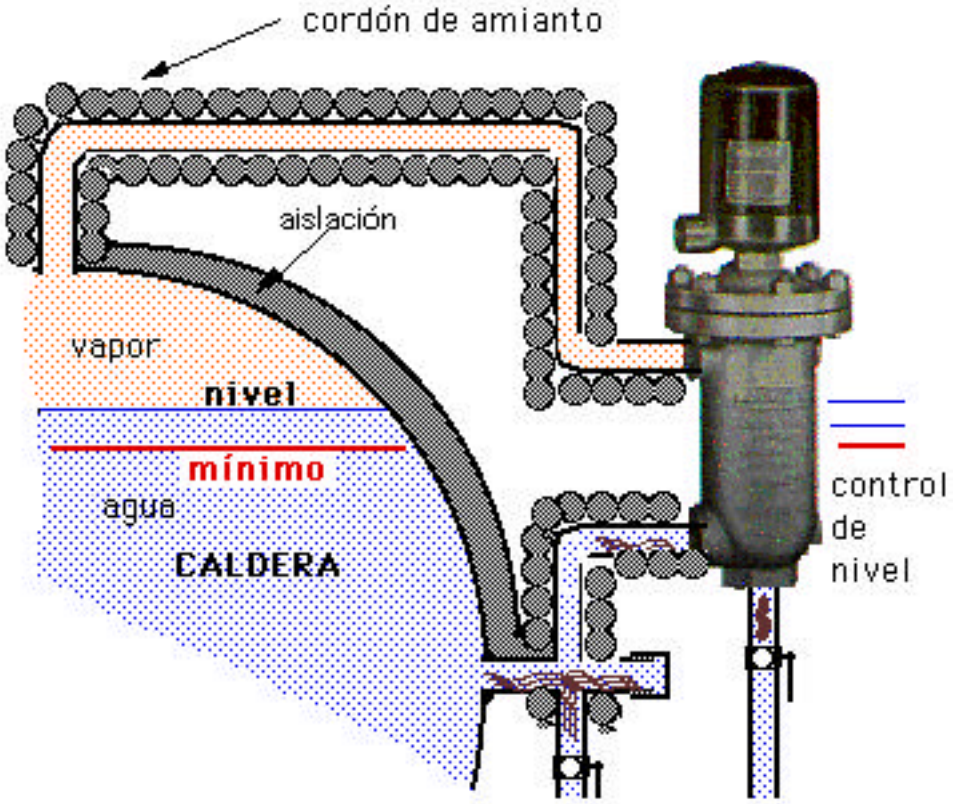
En algunas partes, en donde es difícil poner una aislación convencional, se puede **"arrollar" un cordón de aislación** (flojo) de buen diámetro (esto era muy común en las instalaciones antiguas).

Las columnas hidrométricas de las calderas, están a la temperatura del vapor o agua saturada (son prácticamente la misma en la caldera), lo que significa una pérdida de calor innecesaria (aún los controles de nivel es una "barbaridad" que estén expuestos con su gran superficie a la temperatura ambiente, salvo sobre las zonas expresamente necesarias de enfriamiento), **deberían estar aislados.**

Todos los tanques de alimentación deben estar aislados (cuanto más próximo a 100ºC la temperatura de alimentación, mejor en todo

sentido, para ello el tanque debe de estar a 5 m. sobre la bomba de alimentación, para evitar la cavitación). Las cañerías de succión deben estar aislada (cuidando que no se formen "bolsas" de vapor en el trazado de las mismas) y las cañerías de mandada.

Una forma sencilla (aunque no sea muy buena la aislación, además de ahorrar energía, protegen de alguna "quemadura"), es la solución indicada en la siguiente figura:



AISLACION CON CORDON DE AMIANTO

EN RESUMEN:

Todo lo que se pueda aislar, es un ahorro energético. Solo hay muy pequeños elementos que deben no ser aislados : cuellos de válvulas de seguridad en la zona del resorte, sifones de manómetros o presóstados, cuellos de controles de nivel, etc..

EL AHORRO EN LOS EQUIPOS DE PROCESO

Todo lo dicho anteriormente es válido en general para los equipos

de proceso, inclusive **en tratar de trabajar con las temperaturas más bajas posibles sin que retrasen los procesos**.

Al bajar la presión de caldera, no solamente bajarán las pérdidas en la caldera (tanto la pérdida térmica como equipo térmico, sino que la pérdida de chimenea también bajará al bajar la temperatura de chimenea por la mejora en la transferencia), **bajará todas las pérdidas por aislación e inclusive todas la pérdidas físicas de vapor al haber menos presión y temperatura** (pero se debe observar que no se retrasan los procesos o se malogren los mismos).

Automatizar en forma de modulación continua todos los procesos de calefacción (esto permite que la caldera no tenga picos de consumo que son los que por lo general tienen un bajo rendimiento, comparado con una marcha de cambios suaves y esperados, es decir coordinados entre producción de vapor y consumo)**, regulando las temperaturas máximas** (esto permite un ahorro como equipo térmico).

La regulación de temperaturas manuales, son las peores enemigas de ahorro energético, ya que dependen de la atención o "capricho" del que opera, **lográndose los mejores ahorros en la modulación continua, que si bien es más cara de implementar, se paga con el ahorro.** Hay una tendencia a la regulación prende-apaga -ON-OFF- debido a la sencillez y el bajo costo de instalación (como por ejemplo: es más barato y fácil instalar una válvula de solenoide que una válvula termorreguladora, es evidente que es mejor este sistema ON-OFF, que un sistema manual sin atención esmerada).

Cuando hay exceso de vapor de baja (provocado por recuperación de vapor de "flash" o por efecto del mismo proceso) **y hay necesidad de temperaturas relativamente más alta que dicho vapor de baja, la "compresión" mecánica del vapor** (utilización de turbinas o lóbulos, movidos por elementos mecánicos accionados por fluidos de recuperación o eléctricamente) **o la termo-compresión son un gran recurso para el ahorro de energía** (la utilización de vapor de alta como elemento compresor por medio de eyectores)**.**

Esta compresión logra que un vapor de baja (por ejem. de 1 a 5 Kg/cm2) **pueda ser comprimido a una presión mayor** (por ejem. de 6 a 10 Kg/cm2), **vapores que al estar saturados, pasan de una temperatura menor a un temperatura mayor, de manera de recuperar el delta térmico** (aumentar el salto de temperatura para la transferencia, dado que aumentan su presión y por lo tanto su temperatura, disponiendo su alto calor latente para la transferencia nuevamente).

Estos sistemas en el Uruguay no son muy comunes, la industria papelera, azucarera y alguna refinería, son los lugares en donde hay probabilidades de observarlo. Pero no deja de ser un tema interesante a

tener en cuenta, ya que hay una recuperación energética importante.

EL AHORRO ENERGÉTICO EN EL AHORRO DEL TIEMPO

Todo proceso lleva un tiempo, este tiempo puede ser indicado para cada proceso como una necesidad ideal, pero en general, el proceso está demorado por los llamados **"cuellos de botella".**

Los "cuellos de botella" son aquellos elementos que por alguna razón "atrasan" el proceso o alargan innecesariamente su tiempo y con ello se gasta más energía en el tiempo.

Veamos algunos de los posibles y subsanables problemas que generan "cuellos de botella".

1-Extracción de gases.
2-Evacuación de condensados.
3-Sistemas de alimentación de vapor.
4-Coordinación de maniobra.
5-El factor humano.

1-Extracción de gases.

La mayoría de los equipos intercambiadores de calor por medio de cámaras de vapor (como las pailas o tanques de doble fondo) o con serpentines en paralelo o tubos en paralelo (intercambiadores tipo "shell" de gran diámetro de cuerpo), **pecan del problema de que no se le ha prestado gran atención a la evacuación de gases "pesados" y especialmente de gases "livianos"** (los gases en un misma condición de temperatura y presión, para un mismo volumen, en dicho volumen contienen la misma cantidad de moléculas, las moléculas formadas por átomos de distinto peso, el peso atómico, por lo que **a mayor peso molecular, el gas más pesado tenderá a ser atraído por la gravedad con mayor fuerza**) **. Por lo que los gases tenderán a quedar en forma ordenada de manera que los más pesado estarán más abajo y los más livianos subirán** (el ejemplo más contundente es la atmósfera terrestre, fundamentalmente compuesta por **nitrógeno** (79% de N2 en volumen al nivel del mar, peso molecular 28 por estar formado por 2 átomos de nitrógeno : peso atómico del N= 14) y de **oxígeno** (21% de O2 en volumen al nivel del mar, peso molecular 32 formado por 2 átomos de oxígeno: p. a. O= 16), habiendo otros gases que por su menor cuantía no los consideramos en % anterior (llamados gases "raros" : helio, argón, etc.). **Todos sabemos que el oxígeno está en mayor %** (21% en volumen) **a nivel del mar y que a medida que subimos en una montaña o en un avión, dicho % disminuye hasta casi desaparecer**, esto confirma lo dicho anteriormente**.**

En vapor , cuyo peso molecular es **18,** correspondiente a 2 átomos de hidrógeno (p.a. H= 1) y 1 átomo de oxígeno (p.a. O= 16), **se comporta casi similar a un gas** (estando **saturado seco** cuando no hay partículas de agua condensada y con más semejanza cuando está sobrecalentado o sea que su temperatura está por encima de la correspondiente a vapor saturado), pero en un proceso de condensación por enfriamiento, **está en contacto permanente con gotitas de agua condensada, es un vapor húmedo, las gotitas formarán el condensado que sacaremos por la parte baja de las cámaras de intercambio.**

Para considerarlo al vapor de agua con un comportamiento más similar a un gas perfecto, debería ser vapor sobrecalentado (un vapor que entró a una temperatura por encima a la indicada en las tablas de vapor saturado, por ejemplo: el vapor a 10 Kg/cm2 de presión manométrica tiene al estar saturado unos 183ºC, **para recalentarlo debemos de elevar su temperatura por encima de los 183ºC).**

De todas maneras el vapor sobrecalentado no se utiliza para el intercambio térmico, es malo, no hay buena transferencia (el mejor intercambio del lado del vapor lo realiza cuando se provoca una turbulencia de vapor y condensado sobre la superficie de intercambio, siempre que el condensado salga rápidamente por efecto del barrido del vapor)**.**

Junto con el vapor de la caldera, **van otros gases**, además del vapor de agua (p.m.18), como ser el propio aire que entró con el agua de alimentación (nitrógeno p.m. 28, oxigeno p.m. 32, argón p.m. 80, helio p.m.8, etc,), por la descomposición de las sales que trae el agua (anhídrido carbónico p.m. 44, algunos gases de origen orgánico, etc.), y por los productos químicos del tratamiento .

Estos gases al entrar en las cámaras de intercambio tienden a acumularse según su peso, por lo que si no hay purgas o el diseño de la cámara no arrastra dichos gases hacia las trampas de vapor o purgas de gases, la cámara se llena en esas partes por estos gases **que impiden el contacto del vapor con las superficies de intercambio.**

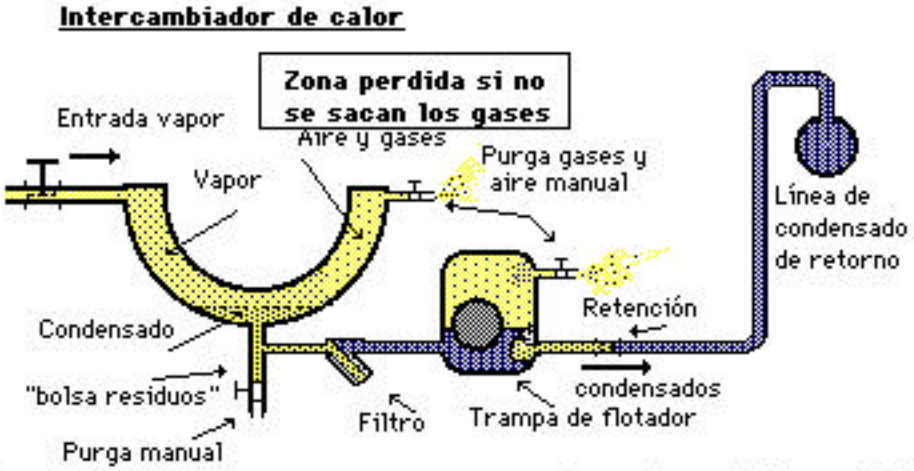
Por lo general, los gases pesados salen junto con el condensado (por esta razón algunas trampas deben de tener elementos capaces de purgar los gases , en forma automática o manual permanente, especialmente las trampas de flotador siempre deben tener este dispositivo y el mismo debe ser controlado, ya que si no funciona, bloquea la extracción del condensado), **pero los gases livianos, si no tienen un dispositivo de purgas en la parte superior, difícilmente son extraídos y ocupan un lugar sobre parte de las superficies de transferencias, afectando el intercambio y con ello atrasando el proceso** (con un aumento en el tiempo de operación con un costo energético). **También los gases pesados, deben salir mezclados con**

el condensado o de lo contrario, habrá que hacer un cañería que separe el condensado por una parte más baja y los gases pesados sean extraídos por encima del condensado.

Esto demuestra la importancia de la elección de la trampa y las técnicas de su instalación.

Hay aguas, que por su salinidad, tienen un alto contenido de alcalinidad (la alcalinidad está formada, por lo general, por bicarbonatos de calcio y magnesio ([HCO3]2Ca y [HCO3]2Mg), **estos bicarbonatos se descomponen en el interior de la caldera** [y más aún si ablandamos el agua o sea si los transformamos en bicarbonatos de sodio : [HCO3]Na, **dando gran cantidad de anhídrido carbónico** (CO2), **que si bien con el agua da ácido carbónico** (o sea, que se disuelve, pero al estar el condensado caliente y al bajar la presión, este está en forma de gas carbónico), **pero en las condiciones de los elementos de transferencia, este gas producido en gran cantidad, es uno de los responsables del posible entorpecimiento de la extracción del condensado** (no es fácil la eliminación de bicarbonato en un sistema de alimentación, obliga a procesos más sofisticados que los comunes)**.**

Veamos un croquis con un ejemplo:



Disposición de los vapores , gases y condensados en intercambiador

El inconveniente de las purgas de gases manual, es que se "tira vapor" en forma permanente junto con los gases a purgar, esto también es una pérdida.

Los purgadores automáticos de gases, se basan en la sensación térmica, es decir, cuando se acumulan gases, baja la temperatura y el purgador sensible a la temperatura (bimetálicos, bulbos, diafragmas,

etc.) abren el pequeño asiento y los gases salen, pero cuando llega el vapor, **se produce el calentamiento del elemento sensor y la válvula cierra hasta que se vuelva acumular gases** (es importante no aislar esta parte que enfría los gases)**.**

Pero además, es muy importante **la forma en que entra el vapor y se distribuye en el interior de la cámara**, de manera de **hacer un "barrido" de los gases hacia la zona de extracción**. Muchas veces conviene que el vapor entre por más de un lado, o que existan "baffles" que dirijan el flujo interno, etc. (no olvidar que el choque directo del vapor sobre el metal produce una corrosión por erosión, que es aumentado por las condiciones químicas), para evitar este efecto se puede interponer una placa de acero inoxidable en donde choque el vapor.

2-Evacuación de condensados.

La evacuación del condensado, es toda una "ciencia" (teórico-práctica), ya que no solamente la **elección del tipo y tamaño de la trampa, es suficiente, sino que su instalación** (forma de instalación), **es fundamental.**

La elección del tipo de trampa, esta relacionada al equipo y su forma de operar (inclusive la presión puede influir).

Debemos dejar bien en claro que las trampas de vapor no son u operan como válvulas de retención (error que se comete muy frecuentemente).

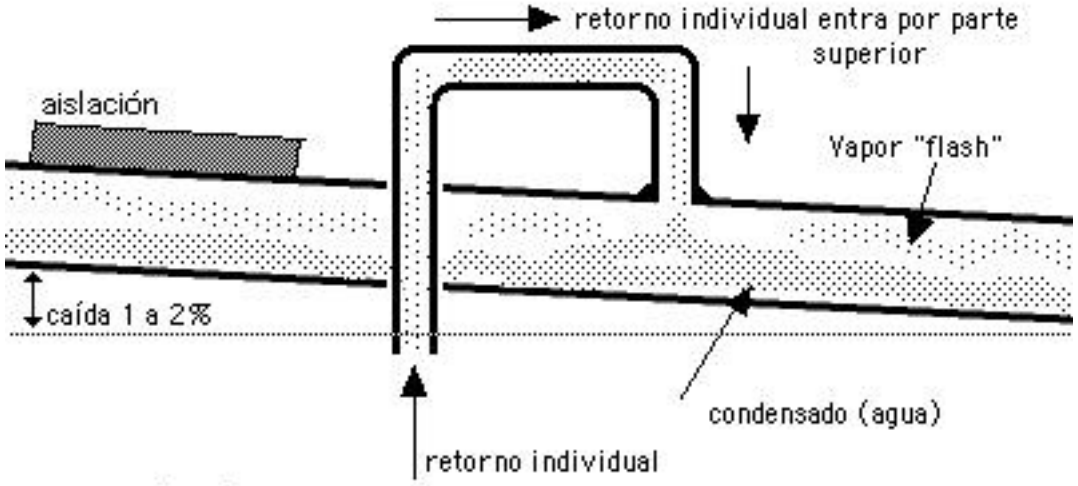
El costo anual de una trampa, no es solamente su costo inicial (el de compra), **sino que lo define su desempeño, ya que si se produce un gasto de energía para funcionar** (como ocurre en las trampas termodinámicas) **su costo en el tiempo puede ser muy importante.** En algunos procesos, se puede mejorar la Eficiencia, ganando tiempo, extrayendo todo el condensado inmediatamente formado, **en otros, se puede, en desmedro del tiempo, enfriar el condensado a extraer, de manera de disminuir el vapor de "flash"** (en este caso, este tipo de trampa, funciona en base a la temperatura del condensado, son trampas que tienen elementos sensibles a la temperatura-elementos bimetálicos, cápsulas o fuelles con soluciones sensibles a determinada temperatura, etc.-) **cuando se utilicen este tipo de trampas, debemos de ser cuidadosos con la purga de gases, ya que los gases se acumularán** (sea liviano o pesado) **porque que son más livianos que el condensado.**

Por lo general, se observa que las cañerías de retorno de condensado, son mal dimensionadas, mal trazadas y sin aislación.

Las **cañerías de condensado deben tener la suficiente dimensión** (sección), muy superior al volumen de agua que conducen, **ya que debemos evacuar un vapor de "flash" de baja presión** (que

tiene un volumen específico muy alto, m3/Kg), **si la cañería fuera sub-dimensionada, se generaría una más alta presión debido al vapor de "flash", esto provoca dificultades para el desalojo del condensado de los equipos que descargan sus trampas a la misma cañería. Y con esto el atraso en los procesos y con ello la Eficiencia de la planta.**

La forma de instalar la cañería, también puede ser un factor de "ahogo" al desplazamiento del condenado y el inevitable vapor de "flash", **para ello, se debe de hacer el tendido de la cañería con su suficiente caída hacia el retorno** (tanques de recuperación o directamente al tanque de alimentación), **buscando que cuando hay que tomar elevaciones, estas sean en forma de no retornar el condensado al sistema.** Recordando que las trampas no son válvulas de retención y por ello además de considerar la instalación de válvulas de retención (deben de ser de baja pérdida de carga, como las de "clapeta" a 45º grados), **con la importante condición que mejora esta condición la inserción de los retornos a la cañería principal por la parte superior** (al cerrar el vapor a los intercambiadores, la condensación del mismo, tiende crear un "vacío" que "chupa" el condensado, pero si lo hacemos entrar en el caño por la parte superior, impidiendo su retorno al equipo que pertenece, considerando además la válvula de retención).



CAÑERÍA PRINCIPAL DE RETORNO DE CONDENSADO

Las trampas de vapor no son ni operan como válvulas de retención (concepto erróneo que se comete muy frecuentemente). Este concepto equivocado de la operación de las trampas, hace que haya una pérdida de tiempo y capacidad de los equipos, dado que si las trampas no son válvulas de retención (y la instalación carece de ellas o las cañerías

están mal trazadas e instaladas) **cada vez que se cierra o estrangula el vapor de entrada, se produce un retroceso o "ahogamiento" de la cámara de transferencia** (el condensado que se forma no evacúa porque no hay presión parcial suficiente, el condensado de línea puede llegar a retornar a la cámara), **al abrir nuevamente el vapor, el condensado provoca una demora de repuesta debido a que tiene que evacuar totalmente el condensado "atrapado" para despejar toda la superficie de transferencia** (aparentemente, mejoramos la eficiencia al bajar más la temperatura del condensado, pero enlentecemos la repuesta del equipo de intercambio). Si se produce un vacío parcial y tenemos purgadores de aire, es posible que entre aire, que será expulsado al entrar nuevamente el vapor, en algunos equipos esto es hasta necesario, de lo contrario la presión atmosférica provocará el colapso de la cámara (nos estamos refiriendo a cámaras de gran superficie y que deba ser necesario la instalación de un "rompe vacío"). Aunque exponer la entrada de aire en contacto con el condensado de retorno, provoca la entrada de oxígeno al sistema de condensado y con ello **un grave problema de corrosión y consumo de secuestrante de oxígeno en el agua de alimentación de caldera** (si este condensado no se somete a una previa des-areación). El oxígeno por si solo es un elemento corrosivo, pero fundamentalmente al haber CO2 (anhídrido carbónico) en el condensado, el oxígeno activa que este sea sumamente corrosivo.

Las trampas de flotador son por lo general las más económicas (solo extraen el condensado que se forma), **tienen un costo de adquisición relativamente alto, son cuestionables frente a un golpe de "ariete"** (o el congelamiento)**, pero por lo general operan muy bien, drenando el condensado adecuadamente** (si la instalación está bien hecha).

Por lo general, aconsejo que toda trampa tenga su válvula de retención y que entre el la cañería general de retorno de condensado por la parte superior y que las caídas de la cañerías estén siempre en el sentido de flujo del condensado.

3-Sistemas de alimentación de vapor.

La **distribución de vapor**, debe ser hecha de manera de no solamente **evitar las pérdidas por aislación**, sino, **evitar las pérdidas de carga** (tanto la dimensión de la cañería en sección: diámetro, como su largo : distancias, curvas en vez de codos, válvulas de pase total (como válvulas esclusas, válvulas esféricas, dejando las válvulas de globo como válvulas de regulación). Las pérdidas de carga en las líneas de distribución bajan la presión y con ello disminuyen la temperatura

disponible para transferencia (si bien el vapor se sobrecalienta un poco, apenas entra en intercambio, su temperatura baja a la de saturación correspondiente a la presión).

La caída de la cañería debe ser en sentido de flujo, evitando la formación de de "bolsones" de condensado, que hacen la cañería proclive a la formación de golpes de "ariete" y también colaboran en provocar pérdidas de carga.

Una velocidad razonable para distribución es la 15 m/s (si intentamos hacer cañerías con mayor velocidad, creamos problemas con las pérdidas de carga, ruidos y golpes de ariete).

Las salidas de la cañería principal a los consumos individuales, deben salir desde la parte superior de la cañería.

La extracción del condensado formado es fundamental, esto debe hacerse en cuanta oportunidad se presente, especialmente delante de las válvulas de regulación (estas no trabajan bien en la presencia de arrastre de agua en el vapor, inclusive se "rayan" los asientos).

Una vez distribuido el vapor, el paso problemático es elegir un sistema de regulación adecuado a cada equipo (esto será fundamental para la mejor Eficiencia, ya que el aprovechamiento del vapor y el tiempo de operación están en juego).

La regulación manual por lo general no es conveniente, dado que el operario no puede estar alerta 100%, lo que genera extremos costosos.

La regulación TODO o NADA (ON-OFF) es mejor que la manual en algunos casos, y muy tentadora por lo fácil de realizar, pero **genera excesos en toda la cadena de generación y transporte del vapor**, al coincidir las aperturas en algunas oportunidades, y funciona por lo general, alterando en una franja la temperatura del proceso.

Tanto la regulación MANUAL como TODO o NADA, tienden a crear cuellos de botellas (se enciman los consumos, tanto en la producción de vapor como en su transporte, **esto crea un "cuello de botella"**).

La regulación continua, es por lo general la mejor (el mejor ejemplo de ahorro de combustible en un auto es el manejo parejo y lo peor es la aceleración a fondo y soltar el acelerador). **La temperatura del proceso será constante, la generación y transporte del vapor será sin cambios bruscos. Esto evita el "cuello de botella", ya que los consumos no se enciman en forma brusca. En la caldera no se producirán cambios bruscos** (arrastres) **y excesos de marcha** (que aumentan la pérdida de chimenea, bajando la EFICIENCIA).

4-Coordinación de maniobra.

Este tema es muy importante en la Eficiencia global de una fábrica, es la coordinación de todos los procesos que consumen energía en forma de vapor.

Todos los procesos de intercambio de energía, en su comienzo presentan un mayor consumo de vapor (es evidente que no solamente el equipo está frío, sino que los fluidos a calentar también lo están. Por ejemplo: un paila de dulce de leche, al comenzar tiene leche a temperatura ambiente o menor, del lado de la leche todavía la viscosidad es muy baja, **hay gran transferencia térmica, por lo que el consumo de vapor será muy importante en el comienzo e irá disminuyendo a medida que el dulce de leche se empieza a formar.**

Casi todos los equipos por "bache" tienen esta condición.

Si todos los consumos de vapor comienzan casi juntos o coinciden en su comienzo, la caldera estará en su máxima producción de vapor, con posibilidades de arrastres y mayores pérdidas en gases de chimenea (no solo por temperatura, sino también por la posibilidad que en esa potencia de combustión se puedan producir gases no quemados).

Es de fundamental importancia, coordinar las largadas de los cocimientos u otros, de manera de desfasar los comienzos y con ello lograr un consumo estable de energía.

Además, es conveniente que exista una **comunicación previa al foguista** (de timbre, luz, o voz) del comienzo de cualquier consumo importante de vapor (esto previene al foguista y se prepara para asumir el consumo sin contratiempos y en las mejores condiciones).

5-El factor humano.

En la industria, no todos los puestos "parecen" ser relevantes, **creo que el foguista debe ser integrado al equipo de producción.**

Es el operario que está manejando un costo en forma directa, es decir, si su atención, preparación y estímulo no es el adecuado, en una empresa que gaste 10.000 Ltrs. de F. Oíl por día (en 8 horas maneja la tercera parte), **puede hacer perder tanto como el 10% al 20% del valor del combustible** (unos 300 Ltrs. a 600 Ltrs. en un turno).

Si el vapor no llega en tiempo y forma, la pérdida se aumenta (para que no llegue en "tiempo y forma", es suficiente que el foguista sea ignorado por la producción, **no coordinando las operaciones de producción**).

Por desgracia, al foguista, se le deja sin apoyo, fuera del equipo y en cierta forma es el "golero" (se come todos lo "pelotazos" del desorden de producción)**.**

El foguista debe de ser reciclado en sus conocimientos, darle los medios para evaluar la EFICIENCIA de la calderas (instrumental)**, ya que tiene la responsabilidad de "no desperdiciar" un recurso de la fábrica, de la HUMANIDAD, y que lamentablemente es una de las principales causas de CONTAMINACIÓN** (cuanto más ahorremos, menos contaminaremos)**.**

Dotar la foguista de los conocimientos, a través de cursos que no sean someterlos a una "burocracia", sino con resultados reales y que levanten el ánimo profesional.

Mantener una biblioteca con sentido práctico a su alcance.

Dotarlo de instrumentos, sencillos, prácticos y confiables (no instrumentos sofisticados, que por lo general no tienen reparación ni calibración en el país).

Y fundamentalmente, **acercarse a su tarea con comprensión y estímulo**, sabiendo que es una persona **que decide en su comportamiento, sobre un tema que nos afecta a todos.**

A los ingenieros, que los temas de producción no les hagan olvidar que por la generación de vapor (energía en general), **se nos van parte de las ganancias que podemos obtener en la producción.**

A los administradores , que las facturas de combustible llevan escondidas el "mal manejo de la energía" (quizás puedan ver un honorario en limpiar una caldera de hollín en un fin de semana, pero esto al cabo del tiempo puede ser el mejor dinero invertido)**.**

A los empresarios, si bien, no se puede estar en todo, para ello deben de tener el equipo adecuado, estimulando que cada uno sea el "mejor del cuadro".

A todos : No olvidar que "comen del mismo plato".

REPASO RÁPIDO:

SUGERENCIAS PARA AHORRAR COMBUSTIBLE EN LAS PLANTAS QUE GENERAN VAPOR: PUNTOS A TENER EN CUENTA

1-Baje la presión (del vapor) **de trabajo en la caldera** lo más bajo posible que le permita ser utilizado el vapor en el proceso.

2-Utilice el quemador (aún con leña) lo más moduladamente posible: en F.Oíl utilice quemadores modulantes o con llamas alternativas, regulando la llama más baja de manera que ésta no se apague en lo posible y que las llamas más altas no sobrepasen el consumo más elevado de vapor (que la repuesta sea suave). En leña, cargar la misma en períodos cortos, regular el aire evitando que la caldera corte por alta presión de manera que la combustión se ajuste a la producción de vapor.

3-Ponga un termómetro en la chimenea y trate de mantener la temperatura lo más baja posible, limpiando periódicamente las superficies de transferencias, especialmente el hollín (ó cenizas) del lado de los gases calientes. Del lado del agua: haga un buen tratamiento químico, limpie los barros periódicamente y mantenga libre de incrustaciones las superficies de transferencia haciendo una limpieza química y/o mecánica. Esta temperatura estará influenciada por el % de combustión, el exceso de aire y la presión de trabajo.

4-Mantenga el exceso de aire para la combustión al mínimo necesario (para evitar que se caliente aire que no entra en la combustión), pero logrando la combustión completa. En F.Oíl mantenga en la chimenea un leve humo color carmelita (caramelo), la llama anaranjada con las puntas levemente más oscuras completando la combustión antes de alcanzar los tubos (el CO2 entre 13% y 15%). En leña los humos no dicen las condiciones de combustión y la observación de la llama es factible en la combustión directa solamente: que la misma llegue hasta la mitad del tubo del hogar, llenando siempre la boca del hogar con llama (en humo tubulares). En el gasógeno y en gases, la observación de llama no es una guía segura, es preferible medir los gases. (en leña el CO2 aconsejable es entre 14% a 16%, O2 entre 3,5% y 5,5%, ya que un CO2 más alto generalmente va acompañado por la presencia de gases no quemados, verificando que se encuentra del lado de exceso de aire comprobando la no presencia de CO, monóxido de carbono). O midiendo el %CO2 y %O2 (oxígeno) y utilizando un triángulo de OSTWALD. En gas natural, la observación de la llama es dificultosa, trate de medir el CO2%(en el entorno de los 10,5% de CO2) o medir el O2% (en el entorno del 3% de O2), **pero mida que no haya CO** (o un máximo de 400 ppm de CO).

5-Comprobar en chimenea que no hay pérdidas por gases no quemados. La presencia de gases no quemados es muy común en la combustión de leña y gases, esta se debe a problemas en la combustión o a la falta de aire. En estos casos, sólo la medición permite detectarlo. Esta pérdida puede ser muy importante. (en leña hasta del 5-7% por cada 1% de CO en gases de chimenea).

6-Mejore la condición de los combustibles. Especialmente en leña, trate de quemar la leña con un bajo contenido de humedad (22% al 25%), en buenas condiciones de estacionamiento (no demasiada estacionada, con putrefacción, etc.).Vale la pena arreglar la "cancha" de estacionamiento.

7-Sellado de todos los aires que puedan introducirse en la caldera que no entren en la combustión. Con una vela o un mechero (candil) de kerosene o gasoil, revisar todas las juntas de tapas en la cajas de humos o mampostería para buscar las entradas de aire (la llama de la vela es succionada hacia la pérdida), calafateando dicha entrada con lana de roca u otros (el amianto es cuestionado por cancerígeno). Estos aires se calientan y se llevan el calor por la chimenea, aparecen en el exceso de aire.

8-Regule la depresión de aire en el hogar al menor valor posible (en calderas con hogar a depresión). Ponga un tubo U con agua para medir la depresión (de vidrio, plástico, etc. conectado la cámara del hogar). Cuanto mayor sea la depresión, mayores serán las pérdidas por aires que entran fuera de la zona de combustión y por ésta.

9-Mejore la aislación de la caldera y sus accesorios. Casi todo puede ser aislado hasta cierto límite. Hay zonas que no deben ser aislados en demasía, ya que se podría levantar una temperatura muy alta en el interior, pudiéndose quemar por dicha razón: paredes de hogar refractarias, tapas en zonas de gases muy calientes, etc.

10-Controle la cantidad de purga y utilice la purgas continua extrayendo de ésta el calor en un intercambiador. Siempre es necesario un % de purga. La purga de fondo y de niveles son necesarias por seguridad y extracción de barros, su recuperación de calor es dificultosa, pero todo aquella purga de sales disuelta puede ser hecha por la purga continua, extrayendo el calor por medio de un intercambiador (para calentar el agua reposición u otros) en forma muy fácil.

11-Recupere el máximo de condensado de retorno. Es agua pura, lo cual disminuye la necesidad de purgar. Es agua caliente, a la

cual hay que agregar menos calor para vaporizar (si es necesario aumente la altura del tanque de alimentación para que la bomba no "patine" -cavitación-).

12-Recupere el vapor de "flash". Cada Kg. de vapor de flash que se recupera es un Kg. de vapor menos a generar por la caldera.

13-Aisle cañerías de vapor, condensado, accesorios y equipos que deban ser calefaccionados. La aislación debe ser adecuada en calidad y en espesor, así como la terminación de la protección de la misma (chapa, fibra, material, etc). Los accesorios: válvulas, reguladores, etc. son lugares de mucha pérdida, se pueden aislar con "mantas" de aislación que son quitadas en las reparaciones o mantenimientos. La aislación más barata no es la más económica.

14-Baje la temperatura en los procesos y los tiempos, todo lo que se pueda. Esto redundará en un menor consumo de vapor.

15-Ponga instrumentos de control : termómetros, manómetros, caudalímetros, etc. Estos permitirán un control visual y se podrán fijar los límites en cada caso.

16-Automatizar en lo posible. La automatización controla más eficazmente estos límites de utilización para el control de la energía, que al teniendo un ajuste adecuado, permite la utilización ajustada de la energía a las necesidades del proceso.

17-Verifique que la trampas de vapor son las adecuadas y funcionan correctamente. Las trampas de vapor deben ser cuidadosamente estudiadas, las más baratas a veces son las más caras en su utilización. Cada trampa tiene un uso más conveniente, pero hoy en día debe ser contemplado el costo por su uso más que por su costo inicial. El mantenimiento de las mismas influyen en el consumo de vapor. Hay trampas que al funcionar consumen energía: son "derrochadoras".

18-Ponga visores de condensado en la trampas. Las trampas deben ser controladas diariamente por medio de visores. En caso de no tener visores instalados, es posible hacer un chequeo con un termómetro de superficie o un probador de trampas (acústico o térmico).

19-Intercambiadores. Estos deben ser adecuados para el uso deseado, ya que un tiempo excesivo en lograr el efecto deseado, la

pérdida de condensado, la necesidad de usar presiones más altas, etc. provocan pérdidas de calor y agua. En este caso el sistema más barato puede resultar el más caro.

20-La instalación en sí misma. Las cañerías con trazados inadecuados, caídas no contempladas, excesos de platinas, etc. también son causas de pérdidas de calor.

21-Calidad del agua de reposición de caldera. Debemos buscar el agua de menor contenido de sales, ya que esto permite trabajar con menor cantidad purgas (ahorro de calor y agua), menos gastos en el tratamiento (sal en el ablandador, productos químicos internos), menos problemas en el vapor (por descomposición de sales). Las aguas superficiales (en general OSE) son mejores generalmente que las aguas de los pozos (que aparentemente parecen más baratos en su utilización).

22-Recuperadores de calor. La instalación de recuperadores de calor puede ser una manera interesante de ahorro: temperatura en exceso en chimeneas, temperatura de aguas residuales, temperatura en venteos de equipos, extracciones de aires o gases calientes, etc.

23-Forma de operar. Siempre que pueda, trabaje con una caldera en vez de dos, con 2 en vez de 3, etc. Con la caldera que trabaje próximo al 80% de su capacidad, etc.

24-Diseño. Muchos equipos (calderas, intecambiadores, etc.) fueron diseñados con criterios distintos a los actuales (materiales, construcción, costo combustible, etc), que a veces una caldera nueva o equipo nuevo **se amortiza en pocos meses con el ahorro de combustible**.

25-Tenga el instrumental de mano necesario para chequeo. Medidores de gases de combustión, termómetros portátiles para inmersión, superficie, etc., con el entrenamiento de las personas involucradas.

26-Entrenamiento y toma conciencia. **Es fundamental la toma de conciencia para lograr el ahorro energético y para esto se debe entrenar a las personas: dándoles el conocimiento necesario y el entrenamiento práctico adecuado. En algunos casos, contratando personas ajenas a la empresa (a veces "nadie es profeta en su tierra") de reconocida solvencia en el tema, que reúna condiciones didácticas y que pueda atraer la atención de la gente.**

TABLAS, DATOS UTILES y CALCULOS PRACTICOS

TABLA DE VAPOR SATURADO

presión ATA	temperatura Cº	calor total Kcal/Kg.	calor agua Kcal/Kg.	calor vapor Kcal/Kg.	volumen m3/Kg.
0.05	32.55	611.3	32.55	578.9	28.7300
0.20	59.67	623.1	59.61	563.5	7.7930
0.50	80.86	631.6	80.81	550.8	3.3010
1.00	99.09	638.5	99.12	539.4	1.7250
2	119.62	645.8	119.87	525.9	0.9016
3	132.88	650.3	133.40	516.9	0.6166
4	142.92	653.4	143.60	509.8	0.4706
5	151.11	655.8	152.10	503.7	0.3816
6	158.08	657.8	159.30	498.5	0.3213
7	164.17	659.4	165.60	493.8	0.2778
8	169.61	660.8	171.30	489.5	0.2448
9	174.53	662.0	176.40	485.6	0.2189
10	179.04	663.0	181.20	481.8	0.1981
11	183.20	663.9	185.60	478.3	0.1808
15	197.36	666.6	200.60	466.0	0.1343
20	211.38	668.5	215.8	452.7	0.1016

Esta tabla esta dada para la presión absoluta en ATA (atmósferas técnicas absolutas, 1 AT: atmósfera técnica = 1 Kg/cm2) para utilizarla a la presión relativa del manómetro debemos de sumarle la presión de la atmósfera, si la presión en el manómetro (relativa) está dada en Kg/cm2 debemos sumarle 1,033 Kg/cm2 y nos dará la presión en ATA, pero si la presión del manómetro esta dada en Bar (relativa), debemos a la presión del manómetro multiplicarla por 1,019 (1 Bar = 1,019 Kg/cm2 o AT) y al resultado sumarle 1,033 (1 atmósfera= 1,033 AT).

Ejemplo: presión caldera 7 Bar ...7x 1,019 =7,133 AT: atmósferas técnicas relativas
7.133 + 1, 033=8,166 ATA (atmósferas técnicas absolutas)
Leer la tabla en 8 ATA (dará un valor aprox.)

Ejemplo: presión caldera 100 Libras/pulgadas2 relativas.... como una
1AT (atmósfera técnica) =14,22 Lb/Pulg.2
100/14,22=7,03 AT ..... 7,03 +1,033 = 8,063 ATA (atmósferas técnicas absolutas).
En este caso se puede tomar como 8 ATA para buscar en la tabla.

Cual será el calor por Kg. que nos proporcionará el vapor a esta presión (8 ATA) **y su temperatura?**

Es igual a 489 Kcal . por Kg. y su temperatura 169ªC, el condensado saldrá a 169ºC si utilizamos un sistema de trampa de vapor que mantenga drenado los intercambiadores en forma total (trampa de flotador), significa que el condensado reevaporizará al bajar su presión a 1 atmósfera (1,033 Kg./cm2 o ATA) y este calor será igual 171,3 - 100 = 71,3 Kcal /Kg de condensado, calor que se podrá aprovechar instalando un recuperador de "flash".

Conversión de presiones

Las presiones de los manómetros son generalmente relativas, para hallar la presión absoluta, hay que sumar la correspondiente a la atmósfera dada para las mismas

unidades en que se esta leyendo el manómetro. A nivel del mar tomamos:
Lectura en Kg/cm2 relativa sumar 1,033 = Kg/cm2 absolutos.
Lectura en Lb/pulg.2 relativa sumar 14.7 = Lb/pulg2 absolutas.
Lectura en Atmósferas técnicas relativas (AT) sumar 1,033 = ATA (atmósferas técnicas absolutas, recordar que 1 AT= 1 Kg/cm2).
Lectura en Bar relativas sumar 1,013 = Bar absolutas.

Conversión de presiones de distintas unidades.

Para convertir	multiplicar	dará en
Kg/cm2	x **14,22**	=.....Lb/pulg.2
Lb /pulg.2.....	x **0,07**	=..... .Kg/cm2
A (atmósferas).....	x **1,033**	=.....Kg/cm2 ...AT (atmósferas técnicas)
Bar	x **1,019**	=.....Kg/cm2

Temperaturas y sus conversiones

La temperatura puede estar dada en grados centígrados (ºC) ó en grados Fahrenheit (ºF), para hacer la conversión de unidades haga las siguientes operaciones .
Grados ºF a grados ºC .....a los ºF réstele 32, a esta diferencia multipliquela por 5 y al resultado divídalo por 9, el resultado serán grados ºC.
O sea lo que Ud. hizo es **Cº= 5/9 x (Fº - 32)**
Grados ºC a grados ºF..... a los ºC multipliquemos por 9 y al resultado dividalo entre 5 , a este resultado súmele 32 y el resultado serán grados ºF.
O se lo que Ud. hizo es **ºF= 9/5 x ºC + 32**

Comentario: el 0ºC de los grados ºC corresponde a +32 º F y el 0ºF grado de ºF corresponde a -17,7ºC (menos -17,7 ºC o sea por debajo del cero ºC o punto de fusión del hielo).
Medidas de temperaturas absolutas:
Grados Kelvin ..... ºC + 273 = ºK (temperatura absoluta en ºC)

Medidas

Lineales
1 m. (metro) = 10 dm (decímetro)=100 cm (centímetro)=1000 mm.(milímetro)
1 yarda (yard)= 3 pié (feet) 1 pié (foot)= 12 pulgadas (inch)
1 pulgada (inch) = 0,0254 m.(metros)= 25,4 mm.(milímetros)
1 Pie (foot) = 0,3048 m. (metros) = 30,48 cm (centímetros)

Superficie
1 m2.(metro cuadrado) = 100 dm2 (decímetro cuadrado)=10.000 cm2
Pulgada cuadrada (In2 , Square inch) = 6,4516 cm2 (centimetros cuadrados)
Pie cuadrado(ft2 , Square foot) = 929,03 cm2 (centímetros cuadrados)

Volumen
1 m3 (metro cúbico)= 1000 dm3 (decímetro cúbico) = 1000 Ltr.(litro).
1 m3.= 1.000.000 cm3 (centímetro cúbico)
1 Pulgada cúbica (in3) =16,3871cm3
1 pie cúbico (ft3) = 28,317 dm3
1 galón americano (U.S. gal)= 3,7854 Ltr. (litros)
1 galón imperial (U.K. gal) = 4,5461 Ltr. (litros)
1 barril de petróleo (bbl , U.S. barrell) = 158,987 Ltr.(litros)
1 pinta americana (U.S. pt) = 0,4732 Ltr. (litros)

1 cuarto americano (U.S. qt) = 0,9464 Ltr. (litros)

Masa (peso)
1 tonelada = 1000 Kg (kilogramos)=1000.000 g. (gramos)
1 grano (grain=gr) =0,0 648 g. = 64,799 mg (miligramos)
1 libra (lb , pound) = 7000 grano = 0,453 Kg
1 Kg. (kilogramo) = 2,205 Lb (libras, pound)
1 onza (ounce) = 28,350 g. (gramos)
1 Libra (lb, pound)= 16 oz (onzas) = 453,592 g. (gramos)

Potencia
1 Kw (kilovatio) = 1,341 H.P. (Horse power-caballo de fuerza)
1 H.P.(caballo fuerza)= 0,7457 Kw (kilovatio)

Medidas de calor

Los americanos e ingleses utilizan el BTU (British thermal unit) que equivale al calor necesario para subir 1 ºF la temperatura de 1 Libra (Pound) de agua.

Nosotros usamos normalmente la Kcal (Kilo-caloría) que equivale al calor necesario para subir 1ºC la temperatura de 1 Kg.(Kilogramo o litro) de agua.

Como el Kg.= 2, 2046 Libras (Pounds) y ºC=5/9x(ºF-32), podemos establecer las siguientes conversiones.

1 BTU = 0,252 Kcal. y 1 Kcal = 3,968 BTU por lo que para convertir:

BTU en Kcal.....BTU x 0,252 = ...Kcal.

Kcal en BTU.....Kcal x 3,968 =.....BTU

Comentario: También se están usando otras formas de expresión, unidades estas que están referidas a unidades de tiempo, que tienen su equivalencias con estas:

vatio/hora = 3,4129 BTU = 0,860 Kcal ó 1 Kw/h=860 Kcal.

1 vatio (watts)= 1 Joule ó 1 Kw/h = 3,6 M J (mega-Joule, siendo mega=1.000.000)

Medidas de transmisión del calor

Como la transmisión del calor esta referida a una superficie determinada, en un tiempo determinado y la diferencia de temperatura esta establecida en ºF ó ºC., tendremos las siguientes equivalencias.

1 B.T.U./ pie2. h..ºF (1 B.T.U. por pie cuadrado por hora por ºF) = 4,88 Kcal/m2.h.ºC (Kilocaloría por m2 de superficie por hora y por ºC)

1 Kcal/m2.h.ºC (1 Kilocaloría por m2 de superficie por hora y por ºC) = 0,204816 B.T.U./pie2 . h..ºF (B.T.U. por pie cuadrado por hora por ºF)

1 Kcal/m2 h ºC = 1,163 Wh/m2 ºK (Wh=vatio-hora) (ºK=grado Kelvin)

Medidas de conducción del calor

La conducción de calor a través de un cuerpo esta referida a una determinada sección, a un determinado largo del pasaje de calor, a un tiempo determinado con un diferencial de temperatura establecido.

1 B.T.U./pie2 . h..ºFx pie (1 B.T.U. cada pie cuadrado , por hora por ºF y por pie) = 1,488 Kcal/m2.h.ºC x m (Kilocaloría cada m2 de superficie , por hora, por ºC y por metro)

1 Kcal/m2.h.ºC x m (1Kilocaloría cada m2 de superficie por hora, por ºC y por metro) = 0,672 B.T.U./pie2 . h..ºFx pie (B.T.U. cada pie cuadrado, por hora, por ºF y por pie)

1 Kcal/ m h ºC = 1,163 Wh/ m ºK (Wh=vatio-hora)

Calor necesarios para calentar 1ºC a 1 Kg. de : (Cp=Kcal/KgºC)

1 Kg. de agua (1 Ltr. a 4ºC)..... 1 Kcal./KgºC

1 Kg. hierro o acero ..... 0,11 Kcal./KgºC
1 Kg. de cobre.....0,094 Kcal/Kg.ºC
1 Kg. aluminio.....0,216 Kcal/KgºC
1 Kg. F. Oíl.....0,47 Kcal/KgºC
Esto lo llamamos calor específico de cada sustancia (Cp) a presión constante.
1 Kcal/KgºC = 4,1868 KJ/KgºK (kilo-Joule por Kg. por Cº)

Conducción del calor por los siguientes elementos:

Acero.....	40 a 50	Kcal/ m h ºC
Cobre.....	320	Kcal/ m h ºC
Aluminio.....	180	Kcal/ m h ºC
Vidrio.....	0,18	Kcal/ m h ºC
Lana de vidrio.....	0,03	Kcal/ m h ºC
Lana de amianto.....	0,05	Kcal/ m h ºC
Poliuretano expandido.....	0,035	Kcal/ m h ºC

Vemos que los materiales aislantes conducen menos el calor.
El amianto es cuestionado por cancerígeno.

Transmisión del calor para calefacción :

La transmisión de calor para calefacción estará influida por la características del fluido que suministra el calor y del que lo recibe, ya que el propio fluido forma una película que hace mayor o menor el pasaje de calor (esta película depende de la agitación o velocidad, de la viscosidad, etc.). El material de las "serpentinas" influye en forma relativa, siendo más importante a tener en cuenta a veces la limpieza de las misma (incrustaciones o costras). La llamaremos **U** (Kcal/m2 h ºC)

Serpentinas calefacción **sumergidas en agua** . (valores prácticos)
Baja presión de vapor, circulación **natural .**..... 488 Kcal/m2 h ºC
Alta presión de vapor, circulación **natural** ..... 976 Kcal/m2 h ºC
Baja presión de vapor, circulación **forzada**.....976 Kcal/m2 h ºC
Alta presión de vapor, circulación **forzada**.....1464 Kcal/m2 h ºC

Calefacción de **aceites combustibles** (valores prácticos)
Circulación **natural**, presión media de vapor

Aceites livianos	145	Kcal/m2 h ºC
Aceites pesados	70-95	Kcal/m2 h ºC
Grasas.....	24-45	Kcal/m2 h ºC

Circulación **forzada**, presión media de vapor

Aceites livianos.....	480	Kcal/m2 h ºC
Aceites medios.....	290	Kcal/m2 h ºC
Aceites pesados.....	140	Kcal/m2 h ºC
Melasas.....	70	Kcal/m2 h ºC
Grasas.....	45	Kcal/m2 h ºC

Q= U x A x (Tv - Tl) Q= Kcal necesarias para calefaccionar y es igual a Q=Kg/h x Cp x (T2- T1) es la cantidad por hora de producto a calentar (Kg/h) por la diferencia ºC entre la temperatura que entra (T1) y la que sale (T2) por la cantidad de calor necesaria para calentar 1ºC/Kg o sea Cp) , U = Kcal/m2 h ºC tabla anterior, Tv= ºC vapor (sacar de la tabla con la presión del vapor) Tl = ºC del líquido (es la temperatura del líquido a calentar Tl= (T2+T1)÷2) . A= a la superficie en metros cuadrados (m2) de calefacción.

Si queremos calcular A , superficie de calefacción **A= Q/ [U x (Tv-Tl)]** Estos valores serán aproximados, dependen de la forma relativa de las serpentinas respecto al movimiento del líquido, a la circulación del vapor y drenaje de condensado.

En algunos casos se tomará la media logarítmica al calcular el ΔT (diferencial de temperaturas) en vez de la media matemática de las temperaturas.

Med. matemáticas[(Tv-T1)+(Tv-T2)]÷2= [Tv-(T2+T1)÷2]=ΔT vapor-líquido
Med.logarítmicas[(Tv-T1)-(Tv-T2)]÷{2,3xLog.[(Tv-T1)/(Tv-T2)]}=ΔT media logarítmica.

La diferencia que se establece al utilizar estos ΔT (diferencial de temperatura) en los casos prácticos no es importante. **Ejemplo**: Un líquido (agua , Cp = 1 Kcal/Kg.Cº) entra a 20ºC y es calentado a 80ºC en 1000 Kg/hora y se utiliza vapor a 1 Kg/cm2. (temperatura 120ºC), calcular superficie de calefacción sin agitación (U = 488 Kcal/m2 h ºC) . Calculando : ΔT matemáticas = 70ºC y ΔT logarítmica = 65,5ºC

Como se ve hay una pequeña diferencia entre ambos valores (ΔT) del salto de temperatura entre el vapor y el agua (en la práctica tomar la diferencial media matemática es suficiente). A= 1000 x 1 x(80-20)÷(488x 70)= 1,8 m2 aprox.

Conversiones química del agua.

La dureza del agua, alcalinidad y otros valores (excepto PH) están referidos normalmente a partes por millón (ppm), esto significa una unidad de algo en un millón de unidades equivalentes .Ejemplo : 1 gramo en un millón de gramos, como un metro cúbico de agua pesa aproximadamente un millón de gramos (depende de las sales que contenga y su temperatura), podríamos decir que 1 ppm es aproximadamente igual a 1 gramo por metro cúbico de agua o 1 milésima de gramo (1 miligramo) en 1 litro de agua que pesa aprox. 1 millón de milésimas de gramo (1 millón de miligramos) o sea que podríamos decir que 1 ppm es igual a 1 miligramo por litro (mg/Ltr.).

La otra base para la conversión es que para comparar las sustancias químicas se toma de base una sustancia química patrón, cuando nos referimos a ppm generalmente la sustancia a la cual nos referimos es al Carbonato de Calcio (CO3Ca), de lo contrario debemos expresar a que sustancia esta referida dicha media . En el caso de los cloruros se prefiere como referencia al ion cloruro (Cl-).

Veamos las equivalencias entre las diferentes formas de expresión:

1 Grano por galón U.S = 17,1 partes por millón (ppm). (1 grano=0,0648 gramo)

1 Grano por galón Imperial= 14,2 partes por millón (ppm)

El galón U.S.(americano) =3,785 Ltrs., galón Imperial (británico)=4,545 Ltrs.. (El galón imperial (británico) se puede expresar como U.K.gal.)

1 ppm = 0,001 gramo/Ltr.=0,0584 Granos/galón U.S.=0,07 Granos/galón Imp.

1 ppm = 0,1 Gº Francés = 0,056 G.º Alemán = 0,07 Gº Inglés (gr/U.K.gal)

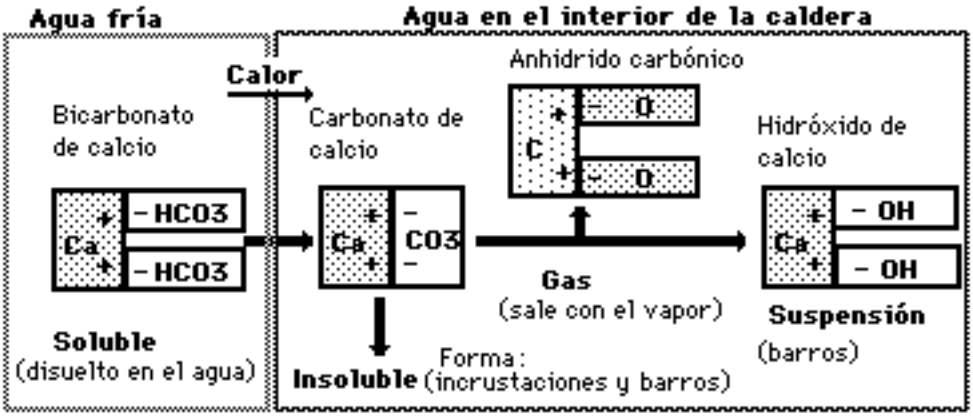
Ejemplo : Dureza Total 80 ppm como CO3Ca (carbonato de calcio) ...Que el calcio y el magnesio presente en el agua expresado como CO3Ca equivale a 80 gramos por m3. aproximadamente.

Reacciones químicas más comunes en el agua de caldera:

Estas reacciones se provocan al encontrarse sales distintas (o ellas mismas por efecto de otras causas), que reaccionan debido al intercambio de sus (átomos o iones) provocada por establecer un nuevo equilibrio químico (activado por elementos que ayudan a esta reacción, como ser: la temperatura, el PH, catalizadores, etc.).

Los bicarbonatos (de sodio, calcio y magnesio) sales muy solubles y muy comunes en el agua de reposición de calderas, al entrar en la misma: debido a la temperatura alta se transforman en otras sales o gases.

El bicarbonato de calcio al entrar en contacto con el agua caliente de la caldera produce las siguientes reacciones finales:



El carbonato de calcio precipita (es el mármol que vemos en la naturaleza), formando las incrustaciones y barros. El anhídrido carbónico es un gas (es el mismo de la combustión del carbono y el que se usa para extinguir incendios) con el agua fría se disuelve nuevamente y baja el PH del condensado atacando en presencia de oxígeno el hierro de las cañerías. El hidróxido de calcio que se forma en forma de barros, ya que no es muy soluble (es la cal que usamos para blanquear). Con los otros bicarbonatos sucede algo parecido, pero en el caso del bicarbonato de sodio, este forma carbonatos e hidróxidos muy solubles, que normalmente estarán en la caldera disueltos, formando la "alcalinidad" que precisamos para mantener un PH adecuado en el agua (siempre que no sea en exceso, PH muy elevado o en calderas de muy alta presión que no podremos tener sodio libre).

Las otras reacciones usuales en agua de caldera:

Bicarbonato de magnesio= Carbonato de magnesio+ agua+ anhídrido carbónico

$Mg(HCO3)2 = MgCO3 + H2O + CO2$

Carbonato de magnesio+agua = Hidróxido de magnesio + anhídrido carbónico

$MgCO3 + H2O = Mg(OH)2 + CO2$

Estas sales que contienen Calcio y Magnesio que se descomponen forman la dureza "temporaria" del agua, se llaman así por que se descomponen con la presencia del calor.

Pero también hay sales que forman la "dureza permanente" del agua, que sumada a la "dureza temporaria" forman la "dureza total" del agua, estas sales son :

Sulfato de Calcio ..... $CaSO4$, Sulfato de magnesio ..... $MgSO4$
Cloruro de Calcio ..... $CaCl2$, Cloruros de Magnesio..... $Mg Cl2$

Reaccionan con otras sales:

Cloruro de magnesio + agua = Hidróxido de magnesio + ácido clorhídrico

$Mg Cl2 + H2O = Mg(OH)2 + 2 H Cl$

Esta reacción es muy corrosiva por el ion cloruro, pero en una caldera correctamente tratada ocurre lo siguiente: Si hay ablandador, intercambia el Mg fuera de la caldera, en caso que esto no suceda reaccionará con la alcalinidad de la caldera debida al sodio:

Cloruro de magnesio+ Hidróxido de sodio=Hidróxido de magnesio+Cloruro de sodio.

$Mg Cl2 + 2 Na (OH) = Mg (OH)2 + 2 Cl Na$

El cloruro de sodio es una sal muy estable, pero es corrosiva cuando hay altas concentraciones (es la sal de comer), la utilizamos como trazador para controlar las purgas midiendo el ion cloruro (para establecer los ciclos de concentración).

El Sulfato de calcio y magnesio son más incrustantes, ya que su saturación

disminuye al aumentar la temperatura, por lo que hay que eliminar la dureza antes que entre a la caldera o formar barros no incrustantes con un tratamiento interno adecuado.

Por ejemplo con fosfatos:

Sulfato de calcio + Fostato trisódico = Fosfato de calcio + Sulfato de sodio

3 Ca SO4 + 2 Na3 PO4 = Ca3 (PO4)2 + 3 Na2 SO4

Con suficiente alcalinidad libre se forma un fosfato de calcio no incrustante que precipita como barro y una sal de sulfato de sodio que no produce incrustaciones o barros.

Cloruro de calcio + Fosfato trisódico = Fosfato tricálcico + Cloruro de sodio

3 Ca Cl2 + 2 Na3 PO4 = Ca3 (PO4)2 + 6 Na Cl

Reacción similar a la anterior.

Hay muchas reacciones más con referencia a las sales que trae el agua y las que ponemos para contrarrestar su efecto. Ahora veremos algo de aquellas reacciones para eliminar el oxígeno del agua. Primero, cuanto más elevada la temperatura de alimentación: menor la cantidad de oxígeno que puede contener el agua, por lo que menos productos químicos deberemos usar. Los productos químicos más comunes son:

Sulfito de sodio + oxígeno = Sulfato de sodio

2 Na2 SO3 + O2 = 2 Na2 SO4

En el caso de usar hidracina:

Hidracina + Oxígeno = agua + Nitrógeno

N2H4 + O2 = 2 H2 O + N2

Esta reacción no forma sales que se suman al T.S.D. (total de sales disueltas) del agua de caldera, ya que forma nitrógeno (gas inerte), tiene el inconveniente de considerarse un producto de manejo peligroso para la salud (cancerígeno).

Cálculo del % de purga :

Dado que el agua que se repone en una caldera contiene una cantidad de sales y además se agregan otras (tratamiento químico), es importante establecer un régimen de purgas para sacar el exceso de sales acumulados en el agua de caldera (límite que se fijará por el total de sales de disueltas máximas admisible o por algunos de los factores limitantes: PH, alcalinidades, cloruros, sílice, etc.). Purgando la misma: tanto en purgas de fondos (que sacan barros y sales disueltas) como en las purgas contínuas (que se utilizan para mantener el límite máximo de las sales disueltas).

El % de purga se puede calcular o medir, basandose en el agua de reposición de acuerdo a diferentes maneras :

1- **Considerando los cloruros** (ion cloruro). Como los cloruros en el agua son difícilmente precipitables, midiendo los cloruros en el agua de reposición y en el agua de caldera, podemos establecer:

Cl a.c. (cloruros agua caldera), Cl a.r. (cloruros agua de reposición). Medimos en p.p.m. como ion cloruro (Cl-).

Cl a.c.÷ Cl a.r. = ciclos de concentración

Ciclos de concentración es igual a las veces que hemos concentrado el agua de reposición (Ejemplo: si evaporamos 1 Ltr. de agua hasta medio 1/2 Ltr., todas las sales serán el doble de concentración, es decir si los cloruros eran 20 p.p.m. pasarán a ser 40 p.p.m. En este caso 40÷20=2 C.c. En la caldera la cantidad total de agua es la misma, pero las sales se van concentrando a medida que el agua que entra se evapora.

El **% de purga sobre agua de reposición** será :

(1÷ ciclos de concentración) x 100 = % Purga agua rep.

Ejemplo: agua de caldera con cloruros en Cl a.c. = 200 p.p.m. y el agua de

reposición de O.S.E. en Cl a.r.= 20 p.p.m., tendremos 200÷20= 10 ciclos de concentración y el % de purga sobre agua de reposición es (1÷10) x 100= 10 % de purga. Significa que el 10% del agua que debemos reponer es sacada por las purgas o por las pérdidas en las válvulas de purgas (como agua de caldera).

Este método mide la cantidad de purga, pero no lo establece.

2- Si quisiéramos establecer el % de purgas (aprox.) haríamos el siguiente cálculo:

Máxima de total de sales disueltas en la caldera (**Max. T.S.D.**).....ppm.

Total de sales disueltas en el agua de reposición (**Rep. T.S. D**.).....ppm.

Total de tratamiento por M3 de agua de reposición (**grm/m3**) de sales.

ciclos de concentración= Max. T.S.D.÷ (Rep. T.S.D. + grm/m3)

La inversa de los ciclos de concentración por 100 dará el % de purga sobre agua de reposición en forma aproximada (ya que hay sales que tenderán a descomponerse).

Ejemplo : Límite máximo de total de sales disueltas en la caldera de 10 Kg/cm2 de presión : Max.T.S.D. = 3000 ppm, el agua de O.S.E. ablandada igual Rep.T.S.D.=240 ppm, se agregan por cada metro cúbico de agua 150 gramos/m3 de productos químicos (polifosfatos , sulfitos, etc.).

Ciclos de concentración Aprox.= 3000 ÷ (240 +150)= 7,7 ciclos

% de purga = (1÷7,7) x 100 = 13% Aprox.

Significa que debemos de "tirar" por las purgas el 13% aprox. del agua ablandada que reponemos. Es decir que si la caldera consume 2000 Ltrs. hora de agua de O.S.E. ablandada, debemos de purgar 2000 x 13÷100 = 260 Litros por hora.

Como por las purgas de fondo y las purgas de nivel el agua que se "tira" es relativamente poca , debemos de utilizar la purga contínua, porque :

1 purga de fondo "tira" unos 50 a 100 Ltrs. por vez

1 purga de nivel (2 niveles) 20 a 40 Ltrs. por vez

Si la caldera es purgada 3 veces por turno (8 horas), significa tomando los valores más altos (100 + 40) x 3 = 420 Ltrs. pero como debemos de purgar por turno: 260 Ltrs/hora x 8 = 2080 Ltrs.

Estableciendo la diferencia 2080-420=1660 Ltrs. que faltan purgar.

O hacemos muchas purgas de fondos (que no es práctico y el calor no se puede recuperar) o establecemos una purga contínua (de superficie) , que "tirará" por minuto: 1660 /(8 x 60) = 3,4 Ltrs./ minuto . (lo podemos medir con una jarra si recuperamos el calor, después de enfriar no habrá vapor de flash).

Cálculo del consumo de agua de alimentación :

1 er. caso, sin condensado de retorno.

Dado una caldera a F.Oíl pesado que consume por día 500 Ltrs. de F.Oíl en 10 horas de trabajo. La presión es de 10 Kg./cm2 de vapor saturado y el agua de alimentación a 20ºC es sin retorno de condensado (O.S.E. Montevideo, ablandada, con 240 ppm como T.S.D. y con un tratamiento de 150 grm/m3, ejemplo anterior).

La caldera funciona al 50% de su capacidad nominal, se estima que su Eficiencia al P.C.I. sin purga (retorno condensado 100%, no real) sea de **82%** y luego con purga y sin nada de condensado de retorno del **79%**. Calculemos, sacando los valores de las tablas anteriores en forma aprox.:

1-Sin purga (100% de condensado de retorno, un caso ideal)

Calor para vaporizar 1 Kg. de agua (664 - 20) = 644 Kcal./Kg. vapor.

Calor aprovechable por Kg. de F.Oíl 9700 x **82** ÷ 100= 7.954 Kcal./Kg.

Kg. de vapor por Kg. de F.Oíl sin purgas 7.954÷ 644=12.35 Kg/Kg.

Siempre se debe de purgar por "seguridad" (niveles, fondo, etc.).

Como el F.Oíl pesa menos que el agua, 1 Ltr. de F.Oíl lo consideramos 0,960 Kg.

Por lo que 500 Ltrs. de F.Oíl serán 500 x 0,960 = 480 Kg. en 10 horas

Kg. de vapor por hora 480 x 12,35 ÷ 10 = 593 Kg. /h de vapor.
Sin purga, deberíamos alimentar 593 Ltrs. de agua reposición por hora.

2-Sin condensado de retorno (un caso real):
La purga será : C.c. =3000 ÷ (240+150) = 7,7 Ciclos lo cual dará un % de purga del orden de = (1÷7,7) x 100 = 13% Aprox. Esto significa que debemos de purgar unos 1 x 13 ÷100 = 0 , 130 Ltrs. por cada Ltr. de agua alimentación aprox..
Para calcular el agua evaporada usamos=(9700 x **79**)÷(644x100)=11,9 Kg./Kg de F.Oíl.
El Agua de alimentación(Agua Alim.)=vapor+purgas= vapor+ Agua Alim.x 1÷C.c.
Agua de alimentación (Agua Alim.)= vapor÷(1-1/C.c.)=13.67 Ltrs. por Kg. de F. Oíl.
Como tiramos agua caliente a la temperatura del vapor, este calor debemos de restarlo del suministrado por el combustible: 0,130 x (185-20) x 13.67 =293 Kcal/Kg. F.Oíl. Recalculando la cantidad de combustible perdido por purga necesaria al no tener condensado: 480 x 293 ÷ 9700 ÷**79** x 100 = 18.35 Kg.F.Oíl desperdiciado por purgas en 500 Ltrs. de F.Oíl utilizado.
Kg. de vapor por hora (promedio) :11.9kg x 480Kg ÷ 10h = 571,2 Kg.vapor hora .
A medida que aumenta el retorno de condensado, disminuye la reposición de agua y aumenta la producción de vapor por Kg. de combustible. La alimentación por hora **sin retorno de condensado** será 13.67x480÷10= 656 Ltrs. de agua por hora (aprox.).
El total de agua a purgar s/c en 10 horas será (13,67-11,9)x480= **849,6 Ltrs.**
Cuando hay % de condensado de retorno: Agua Alimen.=Vaporx % Cond + Reposición
Agua Alimentación= Vapor x % Condensado ÷ 100 x [1 +1÷(1-1÷ C.c.)]
50% de condensado,con valores anteriores de sales y la eficiencia **79.5**% P.C.I
Agua evaporada = 9700 x 79,5 ÷ 644 ÷100 = 11,97 Kg/Kg. de F.Oíl
Agua de Aliment. = 11,97 x 50 ÷ 100 x [1 + 1 ÷ (1 - 1÷7,7)]= 12,86 Ltrs./Kg.F.Oíl
Total de agua a purgar en 10 horas (12,86-11,97) x 480 = **427,2 Ltrs**.

Como se nota: a mayor recuperación de condensado menor purga, mayor rendimiento.

Para la fijación del % de purga, no solamente se debe de considerar el total de sales disueltas (T.S.D.), sino que deben considerarse otros factores, como ser : la **máxima sílice** admisible para la presión, uso del vapor , etc. que en baja presión por lo general no debe pasarse de 300 ppm como SiO2 (o sea que si el agua de reposición es de elevada sílice, habrá que disminuir los ciclos de concentración), también debemos de **considerar la alcalinidad total** (las sales alcalinas que trae el agua de reposición, como ser los hidróxidos, los carbonatos y los bicarbonatos) que por lo general en baja presión la limitación de la alcalinidad total es de 900 ppm como CO3Ca, esto significa que hay aguas de pozos de alta alcalinidad que no se podrán ciclar más de 2 a 3 c.c. (esto es una purga muy elevada), el otro elemento a considerar son el **total de sólidos en suspensión**, que en baja presión por lo general no deberían pasar de 300 ppm (generalmente las aguas vendrán sin sólidos en suspensión, pero si entran sales con dureza en la caldera, estas al precipitar formarán sólidos en suspensión que provocarán problemas). Todos estos límites serán más bajos a medida que la caldera sea de mayor presión.

TABLAS DE CALCULO RÁPIDO DE EFICIENCIAS DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIAS . (Calculadas por el autor).

Las tablas que siguen en las páginas siguientes, permiten calcular la **EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA AL P.C.I. a partir de la medida del CO2 o el O2** (si utilizamos la reglilla auxiliar)**.**

Recordar que en este caso las tablas responden a medidas de CO2 libres de monóxido de carbono (CO) u otros gases sin quemar, o sea a combustión completa.

Ya que el CO2 en general es el más fácil de medir con un FYRITE u ORSAT, y la temperatura de chimenea con un termómetro de hasta 500ºC del tipo dial o electrónico (puesto en la chimenea) y la temperatura ambiente con un termómetro común de ambiente.

Las siguientes tablas están calculadas para combustibles promedios y en el caso de la leña, la misma con una humedad en base húmeda de 25% (de 6 meses a un año de estacionamiento, dependiendo de la época del año, otros valores hay que calcularlos).

Medir el CO2 de los gases, la temperatura de chimenea y la ambiente. Restar a la temperatura de chimenea la temperatura ambiente (esto dará el salto térmico o sea la temperatura de lo que perdemos por el calentamiento de los gases de chimenea).

En la tabla indicada, entramos por la izquierda el valor del CO2 y por la parte superior la diferencia de temperatura, la unión de la lectura del CO2 en la horizontal con respecto a la temperatura en la vertical, dará la **EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA REFERIDA AL P.C.I.** (Poder calorífico inferior).

Para ver que exceso de aire tenemos, referirnos a las curvas de CO2 u O2 , o a los **triángulos de OSTWALD para cada combustible,** que están en el libro o en la **tablas auxiliares** (a continuación de las referidas al cálculo). Pudiendo **recortar las tablas** (fotocopiar y recortar) y utilizando las **tablas** siguientes correspondientes a cada combustible, recortar el hueco correspondiente (indicado por punteado) en las **tablas auxiliares**, en donde podremos "encajar" en la parte inferior la tabla correspondiente (o sea del mismo combustible) y con ello además del cálculo de la Eficiencia de Combustión y Transferencia, obtendremos los **excesos de aire** correspondientes a cada lectura de **CO2** y además el exceso de **O2** (oxígeno). También si tenemos un medidor de O2 en lugar del medidor de CO2 , podremos entrar a cada tabla.

Ver el procedimiento inferior para proceder a la utilización de las reglillas.

FOTOCOPIAR PARA PODER RECORTAR LAS REGLAS DE CALCULO

REGLA DE CALCULO EFICIENCIA

EFICIENCIA COMBUSTION =	P.C.I.	F.Oil Pesado kg:	9450	Carlos W. Thomasset 1994					
P.C.I.	P.C.I.	P.C.S.	P.C.I.	P.C.S.	P.C.S.	P.C.I.	P.C.S.	P.C.I.	P.C.S.	P.C.I.
	140 ºC	160 ºC	180 ºC	200 ºC	220 ºC	240 ºC	260 ºC	280 ºC	300 ºC	320 ºC
CO2=16%	94,6%	93,0%	93,0%	92,2%	91,4%	90,6%	89,9%	89,0%	89,2%	87,4%
CO2=15%	94,5%	93,8%	92,6%	91,8%	91,0%	90,1%	89,5%	88,4%	87,8%	86,7%
CO2=14%	94,0%	93,1%	92,2%	91,3%	90,4%	89,5%	88,6%	87,7%	86,9%	85,9%
CO2=13%	93,5%	92,6%	91,7%	90,7%	89,8%	88,8%	87,9%	86,9%	85,9%	84,9%
CO2=12%	93,1%	92,1%	91,1%	90,1%	89,0%	88,0%	87,0%	86,0%	84,9%	83,9%
CO2=11%	92,5%	91,5%	90,4%	89,3%	88,2%	87,1%	86,0%	84,8%	83,7%	82,6%
CO2=10%	91,9%	90,7%	89,5%	88,3%	87,1%	85,9%	84,7%	83,5%	82,3%	81,0%
CO2=9%	91,1%	89,8%	88,5%	87,2%	85,8%	84,5%	83,2%	81,9%	80,5%	79,2%
CO2=8%	90,1%	88,6%	87,2%	85,7%	84,2%	82,8%	81,3%	79,8%	78,3%	76,8%
CO2=7%	89,0%	87,1%	85,5%	83,8%	82,2%	80,5%	78,9%	77,2%	75,5%	73,8%
CO2=6%	87,0%	85,1%	83,2%	81,3%	79,4%	77,5%	75,6%	73,7%	71,7%	69,8%
CO2=5%	84,6%	82,4%	80,1%	77,9%	75,6%	73,3%	71,0%	68,7%	66,4%	64,1%

leer por debajo
columna diferencia
temperatura

CORTAR
el hueco de la reglilla inferior
permite introducir por debajo
y leer los valores de la regla
de cálculo de Eficiencia, agregando
los valores de exceso de aire y el
exceso de 02 (oxígeno).

UTILIZAR IGUAL COMBUSTIBLE EN AMBAS REGLAS.

F.OIL PESADO

P. Calorífico		Exc. Aire	Exc. 02
Temperatura			
CO2=16%	CORTAR, VENTANILLA REGLA	4%	0,9%
CO2=15%		11%	2,1%
CO2=14%		19%	3,4%
CO2=13%		27%	4,6%
CO2=12%		37%	5,9%
CO2=11%		49%	7,2%
CO2=10%		65%	8,4%
CO2=9%		81%	9,7%
CO2=8%		105%	10,9%
CO2=7%		131%	12,2%
CO2=6%		169%	13,5%
CO2=5%		222%	14,7%

Luego calcular el ahorro.
El ahorro en % en la unión de
las verticales con las horizontales

POSIBLE AHORRO AL MEJORAR CONDICIONES DE COMBUSTION Y TRANSFERENCIA

	Eficiencia mejorada:						
Eficiencias	90%	92%	94%	96%	98%	90%	92%
a mejorar:	**Ahorro de F. Oil pesado.**						
60%	25,0%	26,9%	28,6%	30,2%	31,9%	33,3%	34,9%
62%	22,5%	24,4%	26,2%	27,9%	29,5%	31,1%	32,6%
64%	20,0%	22,0%	23,8%	25,6%	27,3%	28,9%	30,4%
66%	17,5%	19,5%	21,4%	23,3%	25,0%	26,7%	28,3%
68%	15,0%	17,1%	19,0%	20,9%	22,7%	24,4%	26,1%
70%	12,5%	14,6%	16,7%	18,6%	20,5%	22,2%	23,9%
72%	10,0%	12,2%	14,3%	16,3%	18,2%	20,0%	21,7%
74%	7,5%	9,8%	11,9%	14,0%	15,9%	17,8%	19,6%
76%	5,0%	7,3%	9,5%	11,6%	13,6%	15,6%	17,4%
78%	2,5%	4,9%	7,1%	9,3%	11,4%	13,3%	15,2%
80%	0,0%	2,4%	4,8%	7,0%	9,1%	11,1%	13,0%

Ahorro en %
posible del
combustible
bajando el
exceso de aire
o la temperatura
de chimenea

GAS NATURAL P.C.I.

EFICIENCIA COMBUSTION =	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	GasNatu	P.C.I.	11500	*Carlos W. Thomasset 1998*					
P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	Kcal/kgr.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.
	140 ºC	*160 ºC*	*180 ºC*	*200 ºC*	*220 ºC*	*240 ºC*	*260 ºC*	*280 ºC*	*300 ºC*	*320 ºC*		
CO2 =11,5%	94,3%	93,5%	92,6%	91,8%	90,9%	90,1%	89,2%	88,4%	87,5%	86,6%		
CO2 =11,0%	94,1%	93,2%	92,4%	91,5%	90,6%	89,7%	88,9%	88,0%	87,1%	86,2%		
CO2 =10,5%	93,9%	93,0%	92,1%	91,2%	90,3%	89,4%	88,4%	87,5%	86,6%	85,6%		
CO2 =10,0%	93,6%	92,7%	91,8%	90,8%	89,9%	88,9%	88,0%	87,0%	86,0%	85,1%		
CO2 =9,5%	93,4%	92,4%	91,4%	90,4%	89,4%	88,5%	87,5%	86,5%	85,5%	84,4%		
CO2 =9,0%	93,1%	92,0%	91,0%	90,0%	89,0%	87,9%	86,9%	85,8%	84,8%	83,7%		
CO2 =8,5%	92,7%	91,6%	90,6%	89,5%	88,4%	87,3%	86,3%	85,2%	84,1%	83,0%		
CO2 =8,0%	92,3%	91,2%	90,1%	89,0%	87,8%	86,7%	85,5%	84,4%	83,2%	82,1%		
CO2 =7,5%	91,9%	90,7%	89,5%	88,3%	87,1%	85,9%	84,7%	83,5%	82,3%	81,1%		
CO2 =7,0%	91,4%	90,2%	88,9%	87,6%	86,4%	85,1%	83,8%	82,5%	81,2%	79,9%		
CO2 =6,5%	90,8%	89,5%	88,2%	86,8%	85,5%	84,1%	82,7%	81,4%	80,0%	78,6%		
CO2 =6,0%	90,2%	88,7%	87,3%	85,9%	84,4%	83,0%	81,5%	80,0%	78,5%	77,1%		

LEÑA CON 25% H.b.h. P.C.I.

EFICIENCIA COMBUSTION P.C.I.=		25%	25%	Leña	25%	Kcal/kgr.	3080	25%	*Carlos W. Thomasset 1991*			
Humedad	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%		
	140 ºC	*160 ºC*	*180 ºC*	*200 ºC*	*220 ºC*	*240 ºC*	*260 ºC*	*280 ºC*	*300 ºC*	*320 ºC*		
CO2=19%	92,6%	91,5%	90,4%	89,3%	88,1%	87,0%	85,9%	84,8%	83,6%	82,5%		
CO2=18%	92,3%	91,1%	90,0%	88,8%	87,7%	86,5%	85,3%	84,2%	83,0%	81,8%		
CO2=17%	91,9%	90,8%	89,6%	88,4%	87,2%	86,0%	84,7%	83,5%	82,3%	81,0%		
CO2=16%	91,6%	90,3%	89,1%	87,8%	86,6%	85,3%	84,0%	82,8%	81,5%	80,2%		
CO2=15%	91,2%	89,9%	88,6%	87,2%	85,9%	84,6%	83,3%	81,9%	80,6%	79,2%		
CO2=14%	90,7%	89,3%	87,9%	86,6%	85,2%	83,8%	82,4%	81,0%	79,5%	78,1%		
CO2=13%	90,1%	88,7%	87,2%	85,8%	84,3%	82,8%	81,3%	79,8%	78,3%	76,8%		
CO2=12%	89,5%	88,0%	86,4%	84,9%	83,3%	81,7%	80,1%	78,6%	77,0%	75,4%		
CO2=11%	88,7%	87,1%	85,4%	83,8%	82,1%	80,4%	78,7%	77,0%	75,3%	73,6%		
CO2=10%	87,8%	86,0%	84,3%	82,5%	80,7%	78,8%	77,0%	75,2%	73,3%	71,5%		
CO2=9%	86,7%	84,8%	82,8%	80,9%	78,9%	76,9%	74,9%	72,9%	70,9%	68,9%		
CO2=8%	85,3%	83,2%	81,0%	78,9%	76,7%	74,5%	72,3%	70,1%	67,9%	65,7%		

F.Oil CALEFACCION P.C.I.

EFICIENCIA COMBUSTION =	P.C.I.	F.Oil Ca	Kcal/kgr.	10420	*Carlos W. Thomasset 1990*					
P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.
	140 ºC	*160 ºC*	*180 ºC*	*200 ºC*	*220 ºC*	*240 ºC*	*260 ºC*	*280 ºC*	*300 ºC*	*320 ºC*
CO2=15%	94,7%	93,9%	93,1%	92,3%	91,5%	90,7%	89,9%	89,1%	88,3%	87,5%
CO2=14%	94,3%	93,5%	92,7%	91,8%	91,0%	90,2%	89,3%	88,5%	87,6%	86,7%
CO2=13%	94,0%	93,1%	92,2%	91,3%	90,4%	89,5%	88,6%	87,7%	86,8%	85,9%
CO2=12%	93,5%	92,6%	91,6%	90,7%	89,7%	88,8%	87,8%	86,8%	85,9%	84,9%
CO2=11%	93,0%	92,0%	91,0%	90,0%	88,9%	87,9%	86,8%	85,8%	84,7%	83,7%
CO2=10%	92,4%	91,3%	90,2%	89,1%	88,0%	86,8%	85,7%	84,6%	83,4%	82,3%
CO2=9%	91,7%	90,4%	89,2%	88,0%	86,8%	85,5%	84,3%	83,0%	81,8%	80,5%
CO2=8%	90,7%	89,4%	88,0%	86,7%	85,3%	83,9%	82,5%	81,2%	79,8%	78,4%
CO2=7%	89,5%	88,0%	86,5%	84,9%	83,4%	81,8%	80,3%	78,7%	77,1%	75,6%
CO2=6%	87,9%	86,2%	84,4%	82,6%	80,9%	79,1%	77,3%	75,5%	73,7%	71,8%
CO2=5%	85,7%	83,6%	81,5%	79,4%	77,3%	75,2%	73,1%	70,9%	68,8%	66,6%
CO2=4%	82,3%	79,7%	77,2%	74,6%	72,0%	69,4%	66,7%	64,1%	61,5%	58,8%

F.Oil PESADO CRACKING P.C.I.

EFICIENCIA COMBUSTION =	P.C.I.	F.Oil Pe	Kcal/kgr.	9490	*Carlos W. Thomasset 1994*					
P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.
	140 ºC	*160 ºC*	*180 ºC*	*200 ºC*	*220 ºC*	*240 ºC*	*260 ºC*	*280 ºC*	*300 ºC*	*320 ºC*
CO2=16%	94,6%	93,8%	93,0%	92,2%	91,4%	90,6%	89,8%	89,0%	88,2%	87,4%
CO2=15%	94,3%	93,5%	92,6%	91,8%	91,0%	90,1%	89,3%	88,4%	87,5%	86,7%
CO2=14%	94,0%	93,1%	92,2%	91,3%	90,4%	89,5%	88,6%	87,7%	86,8%	85,9%
CO2=13%	93,6%	92,6%	91,7%	90,7%	89,8%	88,8%	87,9%	86,9%	85,9%	84,9%
CO2=12%	93,1%	92,1%	91,1%	90,1%	89,0%	88,0%	87,0%	86,0%	84,9%	83,9%
CO2=11%	92,5%	91,5%	90,4%	89,3%	88,2%	87,1%	86,0%	84,8%	83,7%	82,6%
CO2=10%	91,9%	90,7%	89,5%	88,3%	87,1%	85,9%	84,7%	83,5%	82,3%	81,0%
CO2=9%	91,1%	89,8%	88,5%	87,2%	85,8%	84,5%	83,2%	81,9%	80,5%	79,2%
CO2=8%	90,1%	88,6%	87,2%	85,7%	84,2%	82,8%	81,3%	79,8%	78,3%	76,8%
CO2=7%	88,8%	87,1%	85,5%	83,8%	82,2%	80,5%	78,9%	77,2%	75,5%	73,8%
CO2=6%	87,0%	85,1%	83,2%	81,3%	79,4%	77,5%	75,6%	73,7%	71,7%	69,8%
CO2=5%	84,6%	82,4%	80,1%	77,9%	75,6%	73,3%	71,0%	68,7%	66,4%	64,1%

F.OIL PESADO

P .Calorífico	CORTAR, VENTANILLA REGLA	Exc.Aire	Exc. 02
Temperatura			
CO2=16%		4%	0,9%
CO2=15%		11%	2,1%
CO2=14%		18%	3,4%
CO2=13%		27%	4,6%
CO2=12%		37%	5,9%
CO2=11%		49%	7,2%
CO2=10%		63%	8,4%
CO2=9%		81%	9,7%
CO2=8%		103%	10,9%
CO2=7%		131%	12,2%
CO2=6%		169%	13,5%
CO2=5%		222%	14,7%

LEÑA

Humedad	CORTAR, VENTANILLA REGLA	Exc.Aire	Exc. 02
Temperatura			
CO2=19%		2%	0,4%
CO2=18%		8%	1,5%
CO2=17%		14%	2,6%
CO2=16%		21%	3,7%
CO2=15%		29%	4,8%
CO2=14%		38%	5,8%
CO2=13%		48%	6,9%
CO2=12%		60%	8,0%
CO2=11%		75%	9,1%
CO2=10%		92%	10,2%
CO2=9%		113%	11,3%
CO2=8%		140%	12,3%

F.OIL CALEFACCION

P .Calorífico	CORTAR, VENTANILLA REGLA	Exc.Aire	Exc. 02
Temperatura			
CO2=15%		5%	1,0%
CO2=14%		12%	2,4%
CO2=13%		20%	3,7%
CO2=12%		30%	5,0%
CO2=11%		41%	6,4%
CO2=10%		54%	7,7%
CO2=9%		71%	9,0%
CO2=8%		91%	10,4%
CO2=7%		118%	11,7%
CO2=6%		153%	13,0%
CO2=5%		202%	14,3%
CO2=4%		276%	15,7%

GAS NATURAL

P .Calorífico	CORTAR, VENTANILLA REGLA	Exc.Aire	Exc. 02
Temperatura			
CO2 =11,5%		4%	0,9%
CO2 =11,0%		8%	1,8%
CO2 =10,5%		13%	2,7%
CO2 =10,0%		18%	3,5%
CO2 =9,5%		24%	4,4%
CO2 =9,0%		30%	5,3%
CO2 =8,5%		37%	6,1%
CO2 =8,0%		45%	7,0%
CO2 =7,5%		54%	7,9%
CO2 =7,0%		64%	8,8%
CO2 =6,5%		76%	9,6%
CO2 =6,0%		90%	10,5%

Una vez que se ha leído la EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA, se puede comparar la misma con la eficiencia de una caldera de mayor eficiencia o con mejores valores de chimenea de la misma caldera (disminuyendo el exceso de aire o la temperatura de chimenea , luego de una limpieza de hollín o de incrustaciones, o reparaciones de la distribución interna de los gases, etc, lo que mejora la transferencia). **con la tabla siguiente** (pg. siguiente) entrar con los valores de lectura obtenida en la **columna de la izquierda** y luego buscando el valor deseado en la **horizontal superio**r, buscar en la **intersección de ambas**, el **ahorro** correspondiente. Este ahorro nos permite comparar calderas o la caldera misma en mejores situaciones.

POSIBLE AHORRO AL MEJORAR CONDICIONES DE COMBUSTION Y TRANSFERENCIA

	Eficiencias mejoradas:						
Eficiencias	80%	82%	84%	86%	88%	90%	92%
a mejorar:	**Ahorro de F. Oil pesado.**						
60%	25,0%	26,8%	28,6%	30,2%	31,8%	33,3%	34,8%
62%	22,5%	24,4%	26,2%	27,9%	29,5%	31,1%	32,6%
64%	20,0%	22,0%	23,8%	25,6%	27,3%	28,9%	30,4%
66%	17,5%	19,5%	21,4%	23,3%	25,0%	26,7%	28,3%
68%	15,0%	17,1%	19,0%	20,9%	22,7%	24,4%	26,1%
70%	12,5%	14,6%	16,7%	18,6%	20,5%	22,2%	23,9%
72%	10,0%	12,2%	14,3%	16,3%	18,2%	20,0%	21,7%
74%	7,5%	9,8%	11,9%	14,0%	15,9%	17,8%	19,6%
76%	5,0%	7,3%	9,5%	11,6%	13,6%	15,6%	17,4%
78%	2,5%	4,9%	7,1%	9,3%	11,4%	13,3%	15,2%
80%	0,0%	2,4%	4,8%	7,0%	9,1%	11,1%	13,0%

Nombres de asociaciones que están involucradas en las normas de construcción y funcionamiento de calderas.

En nuestro país existen normas y regulaciones establecidas por el Ministerio de Industria y Energía, por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, por el Banco de Seguros del Estado, por algunas Intendencias Departamentales, por Bomberos, UTE, normas UNIT: Instituto Uruguayo de normas técnicas, LATU (Laboratorio tecnológico del Uruguay) , etc.. Estas normas y regulaciones no abarcan el total de las necesarias para la fabricación de las calderas con referencias al material, condiciones de construcción, tratamientos y controles de calidad, por lo que cuando pedimos la construcción o reparación de una caldera debemos de solicitar respecto a que normas (y organizaciones) responden los items antes mencionado .

Dichas asociaciones o nombres de normas son :

Americanos:

ASME -American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) **ASME , Boiler and Pressure Vessel Commitee** (Sección de la sociedad anterior que se ocupa de las calderas y recipientes a presión).

ABMA-American Boiler Manufacturaters Associations. (Sociedad Americana de fabricantes de calderas). Que aceptan las normas de la sociedad anterior.

ASTM-American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para la prueba de materiales).

SBI- Steel Boiler Institute (Instituto de calderas de acero).

NEMA-National Electrical Manufacturates Association. **AWS**- American Welding Society, Inc.,**ASHRAE** -American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. **ASA**-American Standards Association , etc..

Normas Argentinas : **IRAM**.

Europeos:

NBN- Normas Belgas. **VDTUV**- Normas Alemanas. **BRITISH**- Normas Inglesas. **ABG-28** - Normas Dinamarquesas. **CECT**- Recomendaciones Europeas.

Otras normas que podrán ser tenidas en cuenta:
DIN-Deustche Industrie Normen (Normas Alemana para la industria) . etc.
ISO- International Organization for Standardization(Organización internacional para uniformizar los sistemas).
B.S.- British Standards (normas inglesas). **SAE** - Society of Automotive Engineers , **AISI**-American Iron And Steel Association ,**AWWA-**American Water Works Association. **NEWWA**-New England Water Works Association , etc..

Consideraciones para comprar una caldera:

Debemos de tener en cuenta :
1-El **combustible** (o los combustibles y su calidad en las peores condiciones).
No todos los tipos de calderas pueden quemar cualquier tipo de combustible.
2-La calidad del **agua de reposición y condensados**, la posibilidad de tratamientos (la limpieza química y mecánica).
No todos los tipos y dentro de los tipos, no todos los modelos tienen acceso mecánico para limpieza, habiendo tipo de calderas que no toleran contaminaciones del proceso (aceites, grasas, etc.) otras no toleran barros o son sensibles a cualquier clase de incrustaciones, otras son arrastradoras , etc..
3-La **presión de trabajo** normal y sus limitaciones (respuesta).
Hay calderas que son lentas a las respuestas de los cambios de presión, afectando con esta características el desempeño o calidad del vapor.
4-Temperatura (saturado o sobrecalentado) y **calidad del vapor** ("cualidad", "título" o humedad y pureza).
De acuerdo a su utilización, la temperatura y calidad del vapor es clave, pudiendo una caldera no funcionar correctamente para la alimentación de vapor a una turbina (arrastres y sobrecalentamiento necesario), o como para que la pureza deseada del vapor pueda afectar el proceso (teñidos, procesos alimenticios, etc.).
5-**Capacidad de vapor horaria** (Kg/hora) y su **posibilidad de sobrecarga** (%).
Esta capacidad la debemos calcular a partir de las necesidades máxima de vapor de la planta, considerando un % de "pico" o sobrecarga en la puesta en marcha de la planta o en la previsión del aumento del consumo de vapor en el futuro.
Para expresar la capacidad de la caldera debemos de ser cuidadosos, ya que la capacidad varía de acuerdo a la presión del vapor y a la temperatura del agua de alimentación. Una forma de expresión para evitar esta confusión, es expresar la capacidad de vapor en Kgs. hora de vapor de 100ºC a 100ºC (equivalente de evaporación) o de lo contrario expresar los parámetros anteriores de presión, temperatura del vapor, "cualidad" del vapor y temperatura de alimentación (ambas formas son intercambiables). **Debemos considerar que lo conveniente de la capacidad al cual va ser usada la caldera sea el el punto no solamente de mayor eficiencia, sino que la calidad del vapor sea adecuada** (generalmente en el orden del 70% es el ideal, ya que cuando la caldera pasa a funcionar por encima del 70% aparecen los problemas de la calidad del vapor : arrastres y espumas, relacionados a los límites químicos establecidos, ya que la vaporización específica es muy alta en la actualidad, lo que significa un mayor factor de inestabilidad interna).
6-**Eficiencia Total referida al P.C.I. (%) al 100% de capacidad.**
Nos permite obtener una idea de los Kgs. de vapor por Kg. de combustible para poder comparar distintas ofertas. (Los combustibles y demás parámetros deberán ser iguales para poder hacer la comparación).
7-**Eficiencia (P.C.I.) de combustión en el tiempo.** (períodos de limpieza sin perder la Eficiencia en forma notoria, se nota generalmente por aumento de temperatura en los gases de chimenea, aumentando la pérdida por la misma).
Permite saber de antemano los tiempos de parada para limpieza (tiene un costo) y

si el consumo de combustible no aumentará en demasía entre períodos por pérdida de la Eficiencia al ensuciarse la caldera.

8-**Sistema de seguridad** : válvulas de seguridad (2 mínima), controles de nivel (2 mínimo con corte de combustión), grifos de control de nivel, presóstatos, alarmas , tapón fusible (si es reglamentario) , etc..(verificar que las válvulas de seguridad sean realmente de : apertura total, diferencial y que tengan palanca de prueba).

9-**Sistema de purgas** : purgas de nivel (conectadas para apertura total), purgas de fondo (preferible doble válvula con una rápida) y **continua** (de superficie).

10-**Entradas de inspección** y **limpieza**-Entrada de hombre si es necesaria, cabeza y mano (cercanas a las purgas, entradas de alimentación, partes de fondos y parte superior para control de limpiezas químicas y mecánicas).

11- **Bomba de alimentación** con capacidad suficiente para un prolongado tiempo de servicio (presión y capacidad), atendiendo a las condiciones químicas del agua y temperatura (empaquetadura o sello mecánico), servicio discontinuo o servicio permanente (regulación continua), rendimiento (ó consumo de potencia). Sistema alternativo de alimentación: inyectores a vapor o bombas alternativas (calderas a combustión de celulósicos: leñas, cáscaras, etc.)

12-**Control de la combustión**: **sistemas relacionados con su seguridad**, modulación continua (se obtienen los mejores rendimientos), semi-modulado (por saltos) o discontinuas (on-off) cuyo rendimiento es el inferior.

13-**Normas de construcción y pruebas** : ASME, NBN,VDTUV,IRAM,CECT, etc.

14-**Garantía , inspecciones durante y al final de garantía.** Con medida de la Eficiencia, directa e indirecta.

Dentro de los controles de fabricación: es importante informarse que se cumplan con las inspecciones de construcción, especialmente las radiografías de soldaduras de aquellos lugares que indiquen las normas (envueltas y domos, etc), el aliviado de tensiones según normas, que se hace por "recocido" (normalizado) de las partes sometidas a presión (generalmente envueltas con sus placas, hogares y domos, etc.), las pruebas hidráulicas indicadas al efecto, etc.

Es aconsejable antes de comprar una caldera: pedir al fabricante los lugares en que se encuentran equipos instalados de similar características, visitar a dichos establecimientos en forma personal, hablar no solo con los encargados, sino con los foguistas a cargo de las calderas (sin la compañía del fabricantes de caldera, que luego se podrá coordinar una nueva visita para la cual estaremos preparados para hacer preguntas).

En la **primer visita es conveniente preguntar**:

Conformidad con la misma. Repuesta a los cambios de consumos. Tiempo de calentamiento para su puesta en servicio. Períodos entre limpiezas y variación de la temperatura de chimenea entre dichos períodos. Problemas con la calidad del vapor. Aflojamientos de tubos. Explosiones de hogar. Repuesta a las distintas calidades de combustible. Facilidad de la limpieza de la parte de humos y de la parte de aguas. Kg. de vapor por Kg. de combustible (si es leña preguntar la humedad). Número de personal para su funcionamiento. Límites en la calidad del combustible (en leña humedad). Límites en la calidad del agua de alimentación (problemas de arrastre o espumas). Zonas de mala circulación de agua (probable depósitos barrosos). Recuperadores (eficiencia y limpieza). Facilidad de manejo. etc.

Una de las limitaciones más importante en las calderas en la parte de combustión es la cantidad de calorías por m3. máximo que podemos **liberar en el hogar** (**promedio en Kcal/m3.**), así como el máximo pico de flujo de calor por superficie (**Kcal. por m2**). Debemos de tener en cuenta que el fabricante cumpla con esta norma, ya que se encuentra muy ligada la misma a la seguridad de los hogares

cilíndricos especialmente. Ejemplo: En calderas humo-tubulares es de 1.250.000 **Kcal/m3** para la British Engine Regulations y el límite de pico de flujo por la superficie de la cámara de combustión es de 250.000 **Kcal./m2** para la ABG 28, etc.. Este límite afecta hasta el espesor del material del hogar cilíndrico.

En los hogares acuo-tubulares esta expresión afecta a la circulación del agua en los tubos, pudiendo los mismos "quemarse" por falta de "refrigeración".

Otras formas de expresión de la vaporización de una caldera:

Podemos decir que la vaporización de una caldera es de 40 Kgs. /hora de vapor por m2. de superficie de calefacción, es decir que la capacidad de vapor en Kgs. de la caldera esta dada por el expresión de :

Kgs./h/m2 x superficie calefacción = Kgs. de vapor hora (debemos decir que presión, temperaturas del vapor y del agua a utilizar , o los Kgs. de vapor "equivalente" o sea de 100ºC a 100ºC).

En las calderas antiguas este valor estaba en unos 15-20 Kgs./h/m2, estando actualmente en más de 50 -55 Kgs./h/.m2. en calderas humo-tubulares.

Los americanos (U.S.A.) expresan la capacidad de vaporización en "caballo de vapor de caldera" (CV): 1 "caballo de vapor" equivale a 33.475 BTU/hora ó 8.502 Kcal/hora (unas 30 Lb. vapor a 70 lb/pulg.2 manométricas con agua de alimentación a 100ºF , o sea , unos 13,6 Kg. de vapor a 4,9 Kg./cm2 manométricos con agua de alimentación a 37,7ºC).

No deben confundirse esta expresión promedio de Kgs/m2 que se refieren a la superficie total de calefacción con aquellas referidas a los límites máximos admisibles en los hogares que también se refieren a superficies.

Temperatura aconsejables para los distintos tipos de atomización :

Atomización mecánica.....	aprox. 135º a 145ºC en F.Oíl Pesado.
	aprox. 115º a 125ºC en F.Oíl Calefacción.
Atomización a vapor	aprox. 95º a 110ºC en F.Oíl Pesado.
	aprox. 75º a 90ºC en F.Oíl Calefacción.
Atomización con aire	aprox. 110º a 125ºC en F.Oíl Pesado.
	aprox. 90º a 115ºC en F.Oíl Calefacción.
Atomización por copa	aprox. 90º a 100ºC en F.Oíl Pesado.
	aprox. 60º a 70ºC en F.Oíl Calefacción.

Estos valores varían de acuerdo a las condiciones locales del quemador (tipo de quemador, hogar, operación, etc.).

Valores de viscosidad (aprox.) atomización según tipo de quemador:

300-150 S.S.U. (segundos Seybolt Universal) quemadores grandes de atomización a vapor.

100-150 S.S.U. quemadores pequeños de atomización a vapor o aire, copas rotativas.

100-70 S.S.U. quemadores grandes de atomización mecánica.

70-36 S.S.U. quemadores medianos y pequeños de atomización mecánica por toberas (preferiblemente H.O-Heavy Oíl). Con toberas comunes se trabaja a muy alta temperatura el F.Oíl y generalmente hay mala atomización.

Hasta 36 S.S.U. Atomización mecánica con toberas comunes (F.Oíl calefacción, Diesel Oíl y Gas Oíl).

Toberas o pastillas de atomización (en atomización mecánica).

Generalmente se expresan sus características de la siguiente forma:

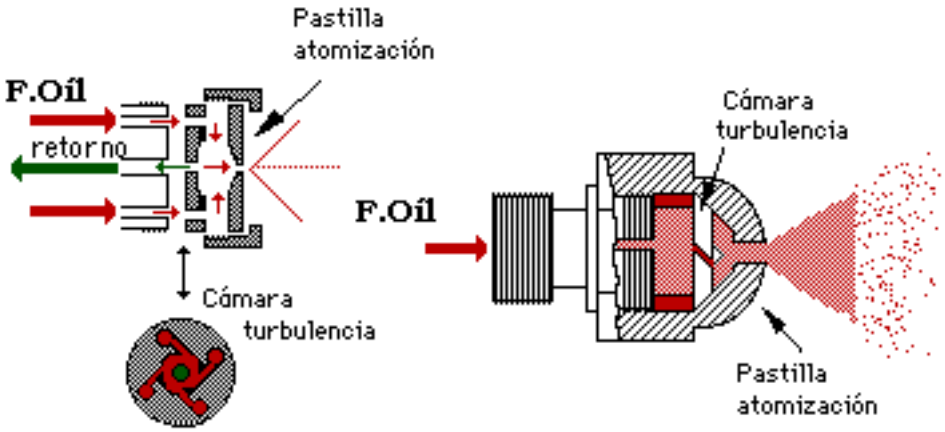
Capacidad..... en las toberas comunes (quemadores de atomización mecánica) se

expresa en U.S.G. (Ejemplo: 10 U.S.G.), esto significa la capacidad horaria en Galones americanos (3,78 litros por galón), pero con una presión de 100 libras/pulgadas cuadradas (7 kg/cm2) con F.Oíl N´2 a 60ºF (equivale a Gas Oíl a 15,5ºC). Esta capacidad varía luego de acuerdo a la presión del combustible, la temperatura y el tipo de combustible en el quemador. A lo contrario de lo que se piensa, en los combustible más viscosos, a pesar que el sentido común parece indicar que pasaría con más dificultad (por Kg./hora), la misma tobera con la misma presión pasa más F.Oíl pesado (Kg/h) que F.Oíl calefacción, Diesel Oíl ó Gas-Oíl (Kg/h). En otros quemadores, las toberas (pastillas) y sus cámaras de atomización (turbulencia) son indicadas por un Nº y letras, que cada fabricante indica sus especificaciones.

Las capacidades de las toberas de atomización varían en relación de la raíz cuadrada de las presiones : sí a la presión P1 el quemador tiene un caudal de V1 U.S.G., a la presión P2 será V2 = V1 x Raíz cuadrada de P2/P1.

Tipo de tobera según combustible: hay toberas especiales para combustibles pesados, tienen grabados las letras H.O. (Heavy Oíl = aceite pesado) y un numero, que indica la presión más adecuada para el trabajo de dicha tobera, las toberas comunes no traen dicho numero de presión. Ejemplo H.O. 430 (es una tobera para F.Oíl que debe de operar a 430 libras/pulgada cuadrada o sea 30 Kg/cm2). Los valores normales son H.O. 200 y 430. Esta toberas están hechas con materiales más “duros” para trabajar con combustibles con más “impurezas”. Estas toberas están probadas a la presión marcada (200, 430 etc. lb/#) con un combustible “pesado” a 66-77 S.S.U. de viscosidad , con una gravedad A.P.I. DE 34-36 a 60ºF (15,5ºC). Se prueban para ver su caudal a la presión de trabajo indicada en tablas, aunque el caudal impreso en U.S.G. --- es el nominal probado a 100 libras por pulgada cuadrada (7 Kg/cm2), con viscosidad 34-36 S.S.U. y gravedad A.P.I. entre 32-38 a 60ºF (15,5ºC), correspondiente a un F.Oíl Nº2 (Gas Oíl).

Las pastillas de atomización formadas por **caras planas entre la cámara de turbulencia y pastilla, deben "esmerilarse"** cada tanto (con pasta de esmeril fina y un "mármol" o vidrio grueso plano como alternativa) y asegurarse que **ambas caras tocan sus superficies perfectamente** (probando con azul de Prusia). Si estas caras planas no asentaran correctamente, las pérdidas de combustible fuera de las ranuras en la cámara de turbulencia no permitiría que se produzca la acción de giro en forma correcta, no dejando que la atomización sea adecuada. Además el material de confección de estos elementos deben ser de acero refractarios para que no se deformen con la alta temperatura que la misma soporta (las caras planas tienden a deformarse en alta temperatura, pero vuelven a quedar planas en baja, lo cual "engaña" al operador al probar las mismas con azul de Prusia).

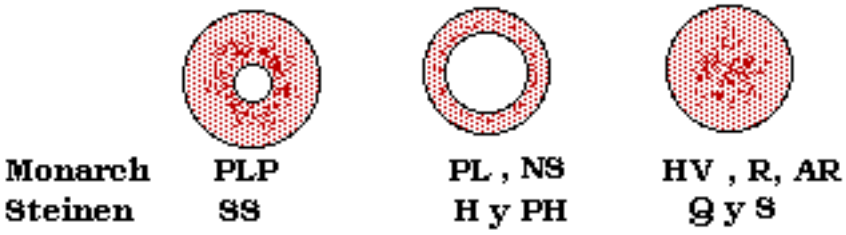


Pastilla y cámara de turbulencia Tobera de quemador más común.

Forma del cono de pulverización: las toberas están ejecutadas para que la forma del cono de atomización sea adecuada al tipo de hogar en que serán utilizados, estas formas podrán ser un simple cono, un cono con más intensidad de combustible en el centro, o un cono con la parte central hueca, otro será en forma de anillo, etc. Sus forma está indicada por letras que cada fabricante adopta según su oferta : por ejemplo : R (cono cargado al centro), NS (cono hueco al centro), AR (cono un poco menos cargado al centro), S (cono muy cargado al centro) H (un anillo parejo), PH (un anillo fino), SS (un anillo grueso), Q (un cono parejo) , etc. todos relacionados al código del fabricante.

El ángulo de atomización es el que forma el cono, un combustible cuanto más pesado, generalmente más ángulo de atomización requiere.

Cuando se pide la tobera se indica : La marca (Steinen , Monarch, etc.)., la capacidad en U.S.G. (número), el tipo de cono de atomización (R u otro) y el ángulo de atomización (las más comunes 45º, 60º, 90º , etc.) y si es H.O. (Heavy Oíl, o sea para combustible pesado) más la presión de trabajo un Nº (420, 300, 200. lb/#).



FORMA DEL CONO DE ATOMIZACIÓN SEGÚN DENOMINACIONES

Presiones de trabajo en quemadores más comunes (con toberas mecánicas)

Con F.Oíl pesado la presión de trabajo en el puntero o tobera deberá ser alta, ya que cuanto más alta la presión en general un combustible pesado atomiza mejor . Si

la tobera no especifica una presión de trabajo, la presión normal podrá ser entre 22 kg/cm2 y 30 Kg/cm2, bajando un poco para el F.Oíl calefacción.

Con Diesel Oíl y con Gas Oíl las presiones tienden a ser más bajas , de 7 a 15 Kg/cm2 en general es suficiente. Cuidado con elevar demasiado la presión, el caudal de combustible aumenta y podemos pasarnos de "fuego".

En quemadores con atomización a vapor o con aire comprimido, la presión del combustible en el puntero es generalmente más baja, podrá ser un máximo de 15 Kg/cm2, siendo normal que ésta varíe entre unos 4 Kg/cm2 y 12 Kg/cm2.

La presión del vapor de atomización depende del tipo de tobera, en algunos es un poco mayor a la presión del combustible y en otros es fija a un de "barrido" que podrá ser por ejemplo : entre 2,5 Kg/cm2 y 3,5 Kg/cm2 (no olvidar que éste vapor debe ser saturado seco).

Una forma de saber si estamos pasados de fuego es medir la temperatura de chimenea, si los gases están más calientes que lo indicado por el fabricante o por el tipo de caldera, estamos pasado de fuego (salvo que la caldera esté sucia de hollín o incrustada, ó un tabique de gases "perforado" en "corto-circuito").

HIDRAULICA

Pérdidas de carga en las tuberías (agua a temperatura ambiente)

Pérdidas de carga en metros de agua para 100 metros de tubería retilínea no incrustada

Caudal lit./min	8	16	33	50	66	83	100	116	133
Caudal en m3/h	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
Diámetros									
1/2" 13 mm	13	9	36	143	-	-	-	-	
3/4" 19 "	19	2,80	11,5	39	-	-	-	-	-
1" 25 "	25	2,18	8,30	17,6	29,5	44,5	64	87	114
11/4" 32 "	0,16	0,63	2,40	5,10	8,55	12,9	18,3	23,8	29,8
11/2" 38 "	-	0,27	1	2,15	3,60	5,40	7,70	10	12,5
2" 50 "	-	-	0,22	0,49	1,19	1,76	2,52	3,40	4,27
Caudal en m3/h	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Diámetros									
2" 50 mm	6,30	22,3	50	-	-	-	-	-	-
21/2" 70 "	1,23	4,42	9,50	16,1	24,6	34,4	45,3	-	-
3" 80 "	0,65	2,30	4,93	8,45	12,9	18	23,7	30,3	38,4
4" 100 "	-	0,75	1,62	2,75	4,20	6,95	7,90	10,1	12,8

Caudal en m3/h	50	100	150	200	250	300	350	400
Diámetros								
6" 150mm	0,57	2,05	4,35	7,48	11,4	16,4	22,4	29,2	37

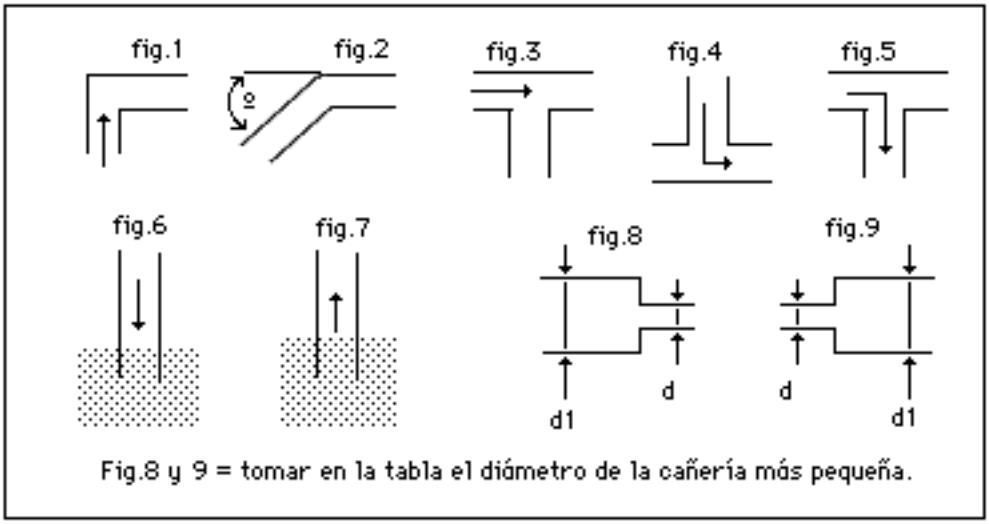
Pérdidas de carga en los accesorios
espresadas en metros de cañería del mismo diámetro

Diámetros en pulgadas	11/2"	2"	21/2"	3"	4"	5"	6"
Válv. globo	13,1	16,8	21,0	25,6	36,6	42,7	51,8
Válv.completa abierta***	0,15	0,20	0,30	0,35	0,45	0,60	0,80
Válvula de pié	4	5	8	9	12	16	20
Filtro de aspiración	0,35	0,45	0,70	0,80	1	1,30	1,60
Codo a 90º (fig 1)	1,50	2	3	3,50	4,50	6	7,60
Codo a 60º (fig.2)	0,75	1	1,5	1,75	2,25	3	4
Codo a 45º (fig.2)	0,50	0,75	1	1,25	1,50	2	2,50
Unión en T (fig.3)	0,30	0,40	0,60	0,80	1	1,30	1,60
Unión en T (fig.4)	1,50	2	3	3,50	4,50	6	7,50
Unión en T (fig.5)	2	2,50	3,50	4,50	5,50	7	9

*** válvula esclusa o esférica de pase total

Cañerías en ángulos vivos :							
a) aspiración (fig.6)	1	1,50	2,25	2,50	3,50	4,50	5,75
b) impulso (fig.7)	1,25	1,75	2,50	3	4	5	6,50
Dimensión brusca de diámetro (fig.8)							
a) d=0,4 d1	0,50	0,76	1	1,25	1,50	2	2,50
b) d=0,6 di	0,40	0,50	0,76	1	1,25	1,50	2
c) d=p.8 d1	0,20	0,25	0,40	0,50	0,60	0,75	1
Aumento brusco de diámetro (fig.8)							
a) d=0,4 d1	1	1,25	1,75	2	2,75	3,50	4,50
b) d=0,6 d1	0,50	0,75	1	1,25	1,50	2	2,50
c) d=0,8 d1	0,20	0,25	0,40	0,50	0,60	0,75	1

Figuras correspondientes a la tabla anterior de accesorios



Las tablas anteriores nos permiten calcular aproximadamente la pérdida de carga de una cañería y sus accesorios, por ejemplo : para ello mida los metros de cañería y sumele los metros equivalentes a cada accesorio (según el diámetro de la cañería y los distintos accesorios con sus forma en particular y las válvulas consideradas totalmente abiertas), con este metraje "equivalente" y entrando a las tablas de caudales (litros por minuto o metros cúbicos por hora) y la medida del diámetro nominal de la cañería, estas tablas dan las pérdidas en metros de columna de agua (cada 10 m.c.a. equivalen a 1kg/cm2) podemos sacar la pérdida de carga en 100 metros de cañería a dicho caudal, lo cual la dividimos por 100 y tendremos la pérdida por metro, a este valor lo multiplicamos por los metros "equivalentes" calculados y el resultado nos dará aproximadamente la pérdida de presión en metros de columna de agua (m.c.a.), para una cañería limpia (si la misma estuviera incrustada se debe de considerar un aumento de la pérdida de carga de un valor superior cuanto mayor sea la incrustación).

Observese la gran pérdida de carga de las válvulas de globo (las válvulas de globo son las que cierran como un "pistón" o "plato" sobre un asiento), también en las pérdidas provocadas por succión o descargas con la cañería (fig. 8 y 9) y los los codos a 90º. Por lo cuanto se diseñe un sistema de cañerías, especialmente a la succión de las bombas se deben de tener muy encuenta la instalación de accesorios adecuados, ya que una mala succión hará cavitar o perder succión de la bomba.

Potencia absorvida por una bomba:

P= (H x Q x p)/ (270 x n) en CV ó = (H x Q x p)/ (368 x n) en Kw

H= altura manométrica en metros (m.c.a.)
Q= caudal en metros cúbicos por hora (m3/h)
p= peso específico del líquido en Kg/dm3
n=rendimiento efectivo de la bomba

Recordar que cuando la bombas succionan agua más caliente de lo normal (entre 5ºC y 20ºC, cuya aspiración práctica es entre 7 y 8 m), debido a la presión de vapor del agua, se debe descontar de la altura de la capacidad de aspiración de la bomba los siguientes :

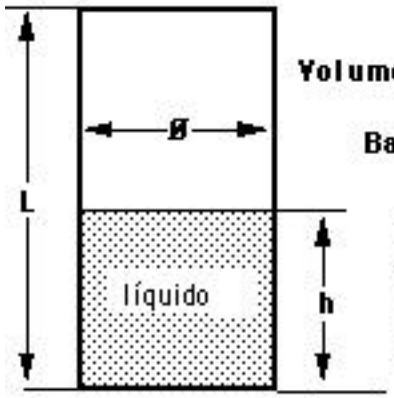
Temperatura (Cº)	30	40	50	60	70	80	90
Deducir (en metros)	0,4	0,7	0,12	1,9	3,1	4,7	7,1

Cuando el agua es para alimentación de calderas y está más de 60ªC conviene que el tanque esté por encima de la bomba, cuanto más caliente más próximo a los 5 m.

CÁLCULOS DE TANQUES CILÍNDRICOS :

Cuando calculamos las Eficiencias, así sea el agua de alimentación, o un tanque de condensado, el de combustible, **necesitamos saber el líquido que queda en el tanque a cierto nivel** (en el caso de los combustibles por lo general hay reglas que se han trazado, midiendo con agua controlada al llenar el tanque por primera vez, pero a veces estas reglas no están correctamente calibradas, por lo que conviene hacer un cálculo). Veremos los tanques cilíndricos: verticales y horizontales.

CALCULO DEL LIQUIDO EN UN TANQUE YERTICAL.



Volumen liquido = **Base x h**

Base = $\frac{Ø \times Ø \times 3,14}{4}$ = m2 (superficie)

h = altura de líquido en m.
Ø = diámetro del tanque en m.
L = largo total del tanque en m.
Las medidas en metros
Ejemplo: Ø 1,200m h= 2,400 m

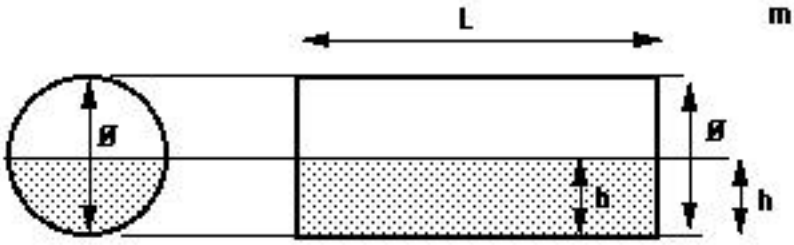
Base= $\frac{1,200 \times 1,200 \times 3,14}{4}$ = 1,130 m2

Volumen líquido= 1,130 x 2,400 = 2,712 m3.
2,712 m3 = 2.712 Ltrs.

El cálculo en un tanque cilíndrico horizontal es más complejo matemáticamente, por eso hemos calculado una tabla, que entrando con el **diámetro Ø del tanque en metros** y la **altura del líquido h en metros**, nos dá el líquido en un tanque de **1 metro de largo**, que luego multiplicaremos por los metros **L** del tanque real, **este valor será el líquido que habrá quedado en el tanque.** Cuando se ponga las medidas, se utilizarán los metros y estarán representados hasta las 3 cifras después de la coma (el tercer número indicará la aproximación de los milímetros).

TABLA PARA CALCULO DEL LIQUIDO EN TANQUES HORIZONTALES

h	Ø 1.100	1.200	1.300	1.400	1.500	1.600	1.700	1.800	1.900 m
0.100	0.043	0.045	0.047	0.049	0.051	0.052	0.054	0.056	0.057
0.200	0.118	0.124	0.130	0.135	0.140	0.145	0.150	0.155	0.159
0.300	0.210	0.221	0.232	0.242	0.252	0.261	0.270	0.279	0.287
0.400	0.312	0.330	0.347	0.363	0.378	0.393	0.407	0.421	0.434
0.500	0.420	0.446	0.470	0.494	0.516	0.537	0.557	0.577	0.596
0.600	0.530	0.565	0.599	0.630	0.660	0.689	0.716	0.743	0.768
0.700	0.638	0.685	0.729	0.770	0.809	0.846	0.881	0.915	0.948
0.800	0.740	0.801	0.857	0.909	0.959	1.005	1.050	1.093	1.134
0.900	0.832	0.910	0.980	1.046	1.107	1.165	1.220	1.272	1.323
1.000	0.907	1.007	1.096	1.176	1.252	1.322	1.389	1.452	1.513
1.100	0.950	1.086	1.198	1.298	1.389	1.474	1.554	1.629	1.701
1.200	.....	1.131	1.280	1.404	1.516	1.618	1.713	1.802	1.887
1.300	.....	.....	1.327	1.491	1.627	1.750	1.862	1.968	2.067
1.400	.....	.....	.....	1.559	1.717	1.866	2.000	2.124	2.239
1.500	.....	.....	.....	.....	1.767	1.958	2.120	2.266	2.401
1.600	.....	.....	.....	.....	.....	2.011	2.216	2.390	2.548
1.700	.....	.....	.....	.....	.....	.....	2.270	2.489	2.676
1.800	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	2.545	2.778
1.900	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	2.835
m									m3



Volumen del líquido = Valor tabla x L = m3.

Valor tabla = entrar por **Ø** (diámetro del tanque) en m., bajar hasta encontrar la altura del líquido **h**, el cruce dá el valor

h=altura del líquido, Ø diámetro del tanque, **L** largo del tanque.

OOOOOOOOOOO .

Indice :

PROLOGO..... Pg.1
Introducción..... Pg.2
Historia de las calderas..... Pg.3
Leyes y decretos en Uruguay..... Pg.20
Mi opinión Pg.23

La Eficiencia..... Pg.26
Hablando de Eficiencias..... Pg.27
Pérdidas en la sala de caldera..... Pg.29
Eficiencia Combust.y Transf..... Pg.30
Eficiencia Total..... Pg.32
Eficiencia al comprar las calderas..... Pg.39
Medición de Eficiencia en calderas..... Pg.49
Ahorros al eligir combustible y quemador..... Pg.55
Control de combustión en F. Oíl..... Pg.63
Triángulo de OSTWALD..... Pg.66
Combustión de la leña.....Pg.71
El ORSAT..... Pg.76
La quema de gases..... Pg.79
Calor perdido caldera equipo térmico..... Pg.85
Pérdidas .....debido a condiciones operativas... Pg.88
Cálculo del vapor de "flash"..... Pg.95
Influencia del % de purga en la Eficiencia..... Pg.104
Pérdidas por los sistema auxiliares caldera..... Pg.112
Distribución de vapor.....Pg.121
La aislación..... Pg.123
Ahorro en los equipos de proceso.....Pg.130
Ahorro energético en el ahorro del tiempo..... Pg.132
REPASO RÁPIDO (ahorro combustible)..... Pg.141
Tablas, Datos Útiles y Cálculos Prácticos..... Pg.145

Este pequeño manual solo pretende hacer llegar a todas las personas relacionadas con la generación de vapor, alertar la toma de conciencia de que la energía debe ser considerada un tema de primer orden. Que lo que haga cada uno sea de su propia responsabilidad, aquí solo se indican "caminos" . Sabemos que no tenemos todas las verdades y que cada planta tiene sus características propias, de todas maneras hemos tratado de hacer llegar nuestra experiencia al respecto. Sé que hay faltas, expresiones incorrectas y, pero, la buena voluntad siempre estuvo presente. Gracias.

MARZO DE 2.000 (Primera impresión)

Sugerimos, la complementación con los siguientes manuales del autor:

Pequeño manual del Foguista
Pequeño manual de Preguntas y Respuestas para Foguistas
Pequeño manual del Operador de Calderas de Calefacción